



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY STROJÍRENSKÉ
SOUČÁSTI**

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF PRODUCTION OF ENGINEERING COMPONENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vilém Nonn

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Vilém Nonn**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh na zefektivnění výroby strojírenské součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat návrhem na zefektivnění výroby strojírenské součásti ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Hlavním záměrem bude provést analýzu současného stavu výroby se zaměřením na použité technologie. Na základě zhodnocení současného stavu bude následně navržena inovace, která povede k zefektivnění výroby. V závěru práce bude provedeno technicko–ekonomické zhodnocení včetně rozboru navrženého řešení, které bude doplněno o porovnání se stávající variantou výroby.

Cíle diplomové práce:

Charakteristika společnosti a rozbor řešené strojírenské součásti.
Analýza současného stavu výroby – charakteristika a rozbor použitých technologií při výrobě.
Návrh inovace výrobního procesu – zefektivnění stávajícího stavu.
Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

HUMÁR, A. Technologie I – Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory. FSI VUT v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [online]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-1cast.pdf

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění výroby strojírenské součásti pro zemědělský stroj. Nejprve je detailně popsán stávající výrobní proces včetně rozboru časové náročnosti výrobních operací. V další části je proveden návrh na zefektivnění výroby a rozbor časové náročnosti inovovaného výrobního procesu. Poslední část práce obsahuje porovnání obou variant z hlediska výrobních nákladů. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky a celkový přínos práce.

Klíčová slova

Obrábění, výrobní náklady, rozbor časové náročnosti, zefektivnění

ABSTRACT

This thesis deals with the efficiency improvement proposal of production of engineering component for agricultural machine. Firstly, the current production proces is described including description of the component and determination of manufacture times. The next part contains efficiency improvement proposal of production including determination of manufacture times. The last chapter contains a comparison of both variants in terms of production costs. The final provision summarizes results which were achieved and overall benefits of the thesis.

Key words

Machining, manufacturing costs, determination of manufacture times, increase of efficiency

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NONN, Vilém. Návrh na zefektivnění výroby strojírenské součásti [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132593>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh na zefektivnění výroby strojírenské součásti** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17. 05. 2021

Datum

Bc. Vilém Nonn

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Petru Špinkovi a Michalu Pekárkovi ze společnosti KOVO Litomyšl s.r.o., kde jsem mohl práci vytvořit. Děkuji také mé rodině, která mi vytvořila ideální pracovní prostředí během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
ÚVOD.....	8
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	9
1.1 Představení společnosti KOVO Litomyšl s.r.o.	9
1.2 Rozbor zvolené součásti	10
1.2.1 Materiál součásti.....	10
1.2.2 Obrobitelnost materiálu.....	11
1.2.3 Polotovary dílů součásti.....	13
1.2.4 Konstrukční rozbor součásti	14
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY SOUČÁSTI	17
2.1 Výrobní strojní zařízení	17
2.2 Použité nástroje a měřidla.....	19
2.3 Postup výroby součásti	25
2.3.1 Výroba dílů 1, 2, 3 a 4	26
2.3.2 Výroba dílu 5	27
2.3.3 Svařování	28
2.3.4 Frézování sestavy	30
2.3.5 Povrchová úprava.....	30
2.4 Rozbor časové náročnosti technologických procesů	30
2.4.1 Přehled a charakteristika určovaných časů.....	32
2.4.2 Řezání závitů na dílu 1	34
2.4.3 Výroba dílu 5	35
2.4.5 Svaření sestavy.....	35
2.4.6 Kalibrace závitů po povrchové úpravě	36
2.4.7 Ostatní ruční práce	36
2.4.8 Souhrn spotřebovaných časů	36
3 NÁVRH INOVATIVNÍHO VÝROBNÍHO PROCESU.....	37
3.1 Inovativní výroba dílu 5	37
3.2 Frézovací operace	41
3.2.1 Obráběcí centrum MCFV 1680 NT	41

3.2.2 Použité nástroje a měřidla	42
3.2.3 Frézování dílu 2.....	45
3.2.4 Frézování dílu 3.....	47
3.2.5 Frézování sestavy	49
3.3 Rozbor časové náročnosti inovativní výrobní technologie	54
3.3.1 Soustružení dílu 5.....	54
3.3.2 Frézování dílu 2.....	54
3.3.3 Frézování dílu 3.....	54
3.3.4 Frézování sestavy	55
3.3.5 Ostatní ruční práce	55
3.3.6 Souhrn spotřebovaných časů	56
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	57
4.1 Zhodnocení stávajícího výrobního procesu	57
4.2 Zhodnocení inovativního výrobního procesu	59
4.3 Porovnání stávajícího a inovativního výrobního procesu.....	61
ZÁVĚR	65
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Pro zajištění konkurenceschopnosti v dnešní moderní době musí mít strojírenská firma dostatečně efektivní výrobní proces a organizaci práce. Tyto faktory se výrazně promítají do nákladů na výrobu, které ovlivňují zisk z dané výroby. Výše nákladů je navíc důležitou položkou při kalkulaci ceny v případě soutěže o zakázku a může zajistit potřebnou konkurenční výhodu, která povede k získání zakázky. Pro efektivní výrobní proces je nutné využít vhodné řezné nástroje a zvolit řezné podmínky odpovídající obráběnému materiálu, řezným nástrojům a strojnímu zařízení. Na základě dostupných technologií a volné výrobní kapacity společnosti je také nutné vhodně rozhodnout o případné spolupráci s jinými firmami.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění výrobního procesu součásti vyráběné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. V první kapitole je stručně představena společnost KOVO Litomyšl s.r.o. a je proveden detailní rozbor vyráběné součásti. Pro výrobu součásti jsou využívány technologie laserového řezání, soustružení, frézování, vrtání a svařování. V další kapitole je popsán stávající stav výroby součásti a jsou charakterizovány využívané strojní zařízení, nástroje a měřidla. Postup výroby je zaznamenán pomocí technologických postupů, včetně zvolených řezných nástrojů a řezných podmínek pro dané operace. V závěru kapitoly je proveden rozbor časové náročnosti jednotlivých operací.

V následující kapitole je na základě rozboru současného výrobního procesu navrženo zefektivnění. Hlavní změnou je přesun frézovacích operací z kooperace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o., dále je provedena inovace operace soustružení a změna v organizaci práce. Tyto změny jsou provedeny s cílem snížit výrobní náklady a využít volnou výrobní kapacitu společnosti. Součástí kapitoly je rozbor časové náročnosti inovovaného výrobního procesu. V poslední kapitole jsou obě varianty porovnány z hlediska výrobních nákladů. V závěru jsou prezentovány výsledky a přínos této diplomové práce.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Pro tuto technologickou práci byla zvolena součást vyráběná společností KOVO Litomyšl s.r.o. V úvodní kapitole bude představena společnost a detailněji popsána vybraná součást.

1.1 Představení společnosti KOVO Litomyšl s.r.o.

KOVO Litomyšl s.r.o. sídlí v průmyslové zóně na okraji města Litomyšl. Společnost se zabývá zakázkovou a malosériovou výrobou v oblasti konvenčního obrábění, obrábění na CNC strojích a svařování. Jedná se zejména o obrábění rotačních dílců, výrobu svařenců a výrobu ocelových konstrukcí s jejich následnou montáží. Příkladem běžných výrobků společnosti jsou součástky do zemědělských strojů, díly pro jednoúčelové stroje, výroba a oprava válců pro tiskařský průmysl a výroba rotačních součástí pro autobusový průmysl [1].

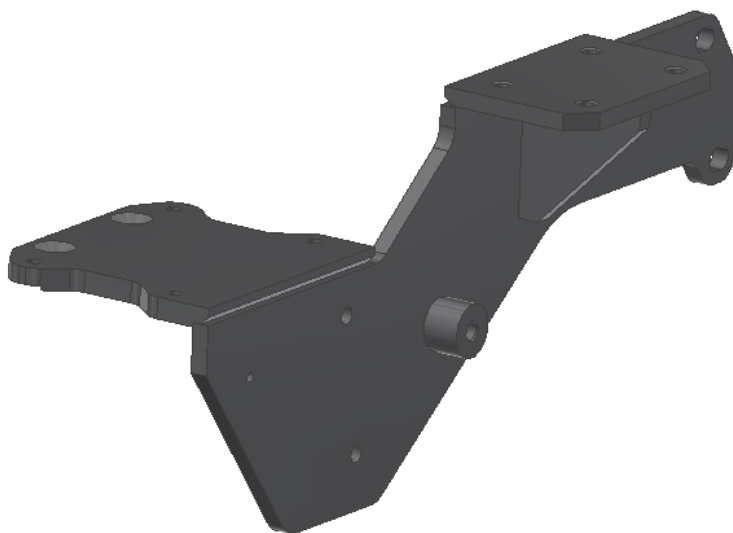
Společnost byla založena v roce 2007. Původní výroba byla umístěna v pronajatých prostorách o výměře 300 m². Z důvodu rostoucí poptávky a požadavku na větší výrobní kapacitu, byla v roce 2014 zahájena výstavba nové výrobní haly o celkové výměře 1 200 m². K zahájení výroby v nových prostorách došlo v roce 2015. Výrobní hala KOVO Litomyšl s.r.o. viz obr. 1.1. V budově jsou jednotlivé stroje rozmístěny podle technologického uspořádání, tzn. podle technologické podobnosti. V hlavní hale se nachází buňky pro svařování, sklad hotových výrobků, sklad polotovarů, stroje pro přípravu a dělení polotovarů a několik montážních pracovišť. K hlavní hale jsou připojeny 3 menší prostory se sníženým stropem, ve kterých se nachází konvenční obráběcí stroje, CNC obráběcí stroje a zámečnická dílna. K výrobním prostorům je přidružena administrativní budova včetně zázemí pro zaměstnance. V současnosti ve firmě působí 25 zaměstnanců, z nichž 20 pracuje ve výrobě a 5 v oblastech technologická příprava výroby, kontrola výroby a administrativa [1].



Obr. 1.1 Výrobní hala společnosti KOVO Litomyšl s.r.o.

1.2 Rozbor zvolené součásti

Zefektivnění výroby bude řešeno pro součást viz obr. 1.2. Jedná se o konzolu, která slouží jako součástka do zemědělského stroje. Z důvodu dodržení mlčenlivosti není popsáno přesné využití konzoly a nebude uveden zadavatel, pro kterého je tento výrobek vyráběn. Výkresová dokumentace součásti viz příloha 1. Z důvodu dodržení mlčenlivosti byly z výkresové dokumentace odstraněny určité informace a náležitosti.



Obr. 1.2 Konzola pro zemědělské stroje.

1.2.1 Materiál součásti

Pro díly 1, 2, 3 a 4 je podle výkresové dokumentace viz příloha 1 předepsán stejný materiál, konkrétně ocel 11 523.1. Pro díl 5 je předepsán materiál 11 523.0. Ekvivalentní označení materiálu podle zahraničních norem viz tab. 1.1. Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel se zaručenou svařitelností dle ČSN 05 1309. Chemické složení oceli viz tab. 1.2. Materiál je vhodný zejména pro mostní a jiné svařované konstrukce nebo pro součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. V tab. 1.3 je přehled základních fyzikálních vlastností materiálu. Důležité mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.4 [2, 3].

Tab. 1.1 Ekvivalentní označení materiálu podle zahraničních norem [2].

Norma	ČSN	EN 10027-1	EN 10027-2	DIN
Značení	11 523	S35530	1.0553	St52-3

Tab. 1.2 Chemické složení materiálu 11 523 [hm. %] [2].

C	Mn	Si	P	S	N
max 0,200	max 1,600	max 0,550	max 0,040	0,040	0,009

Tab. 1.3 Fyzikální vlastnosti materiálu 11 523 [3].

Hustota	[kg·m ⁻³]	7 850
Měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	458
Teplotní součinitel roztažnosti	[K ⁻¹]	11,7·10 ⁻⁶
Tepelná vodivost	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	53,4

Tab. 1.4 Důležité mechanické vlastnosti materiálu 11 523 [3].

Horní mez kluzu	[MPa]	355
Mez pevnosti	[MPa]	490 až 630
Tažnost	[%]	20
Nárazová práce	[J]	27
Youngův modul pružnosti	[GPa]	206
Tvrdość podle Brinella	[-]	178

Z uvedené doplňkové číslice v označení materiálu 11 523.1 vyplývá, že materiál je normalizačně žíhaný. Doporučené teploty pro tepelné zpracování jsou uvedeny v tab. 1.5. Doplňková číslice v označení materiálu 11 523.0 značí tepelně nezpracovaný materiál. Jedná se tedy o tyč taženou za studena.

Tab. 1.5 Doporučené teploty a způsoby ochlazování pro tepelné zpracování materiálu 11 523 [3].

Normalizační žíhání	870 až 900 °C	Ochlazovat na vzduchu
Žíhání na měkko	680 až 710 °C	Zvolna ochlazovat
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650 °C	Zvolna ochlazovat
Popouštění	670 až 700 °C	Ochlazovat na vzduchu

1.2.2 Obrobitelnost materiálu

Obrobitelnost lze považovat za míru schopnosti konkrétního materiálu být zpracováván určitou obráběcí technologií. Jedná se o důležitou vlastnost, která ovlivňuje volbu technologie a konkrétních řezných podmínek procesu. Na stupni obrobitelnosti materiálu závisí ekonomický výsledek procesu, náklady a pracnost. Obrobitelnost závisí na fyzikálních a mechanických vlastnostech daného materiálu, zvolené metodě obrábění, podmínkách během procesu a geometrii řezného nástroje. Nejdůležitější faktory ovlivňující obrobitelnost jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,

- mikrostruktura obráběného materiálu,
- tepelná vodivost,
- pevnost, houževnatost a tvrdost,
- metoda obrábění,
- řezné podmínky a řezné prostředí,
- geometrie a materiál řezného nástroje [4, 5].

Obrobitelnost je relativní vlastnost. Pro konkrétní materiál se určuje porovnáním s jiným materiálem, který je obráběn stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek. Jako srovnávací kritérium se nejčastěji volí velikost řezné rychlosti při zvolené trvanlivosti v_{cT} . Obvyklé hodnoty trvanlivosti T : 60 min, 45 min, 30 min a 15 min. Při hodnocení obrobitelnosti podle kritéria v_{cT} se posuzuje velikost objemu materiálu odebraného za jednotku času. Materiál je odebírán pomocí daného řezného nástroje při dodržení konstantního smluveného průřezu třísky v daném řezném prostředí. Např. pro podélné soustružení jsou smluvené řezné podmínky: šířka záběru hlavního ostří $a_p = 2,5$ mm a posuv na otáčku $f = 0,25$ mm. Materiály jsou rozděleny do devíti základních skupin obrobitelnosti. Jednotlivé skupiny obrobitelnosti jsou značeny malými písmeny viz tab. 1.6. V každé skupině je zvolen jeden konkrétní materiál, tzv. etalon obrobitelnosti, se kterým je porovnávána obrobitelnost ostatních materiálů ze skupiny. Na základě porovnání je určena relativní obrobitelnost podle rovnice 1.1.

$$i_o = \frac{v_{cT}}{v_{cT \text{ etalonu}}} \quad (1.1)$$

Kde: i_o [–] – index kinetické obrobitelnosti,
 v_{cT} [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost při určité trvanlivosti,
 $v_{cT \text{ etalonu}}$ [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost při určité trvanlivosti pro etalonový materiál.

Tab. 1.6 Základní skupiny obrobitelnosti [4].

Označení	Materiál
a	Litiny a nekovové materiály
b	Oceli a oceli na odlitky
c	Těžké neželezné kovy
d	Lehké neželezné kovy
e	Plastické hmoty
f	Přírodní nerostné hmoty
g	Vrstvené hmoty
h	Pryže
v	Tvrzené litiny pro výrobu válců

Podle indexu kinetické obrobitelnosti jsou materiály v jednotlivých skupinách rozděleny do tříd. Třídy jsou značeny čísly 1 až 20. Hodnota indexu kinetické obrobitelnosti je pro jednotlivé třídy odstupňována podle geometrické řady s kvocientem $q = 101/10 = 1,26$. Třída etalonového materiálu má kvocient $q = 1$. S rostoucím číslem třídy se zvyšuje obrobitelnost materiálu. Ukázka dělení základních skupin na třídy obrobitelnosti je uvedena v tab. 1.7 [4, 5].

Tab. 1.7 Ukázka dělení základních skupin na třídy obrobitelnosti [4].

Index obrobitelnosti i_o			Materiál			
Vyjádřeno kvocientem	Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny	
					mědi	hliníku
$1,26^{-3}$	0,50	0,45 až 0,56	8a	11b	8c	7d
$1,26^{-2}$	0,63	0,57 až 0,71	9a	12b	9c	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72 až 0,89	10a	13b	10c	9d
$1,26^0$	1,00	0,90 až 1,12	11a	14b	11c	10d
$1,26^1$	1,26	1,13 až 1,41	12a	15b	12c	11d
$1,26^2$	1,59	1,42 až 1,78	13a	16b	13c	12d
$1,26^3$	2,00	1,79 až 2,24	14a	17b	14c	13d

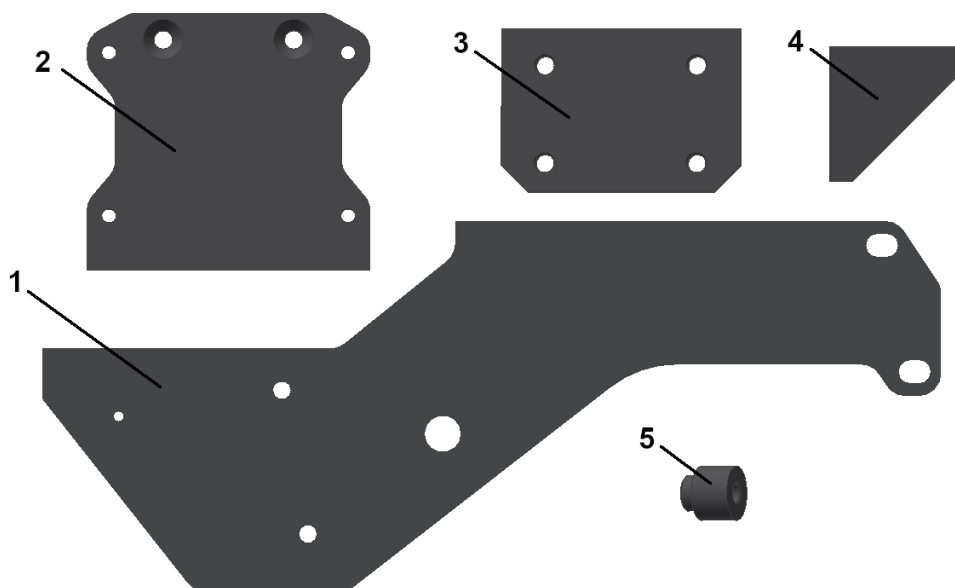
V případě materiálu 11 523 je pro operace soustružení, vrtání, frézování, a hoblování předepsána třída obrobitelnosti 14b [3]. Jak je vidět na zvýrazněném řádku v tab. 1.7, materiál má srovnatelnou obrobitelnost s etalonem, což je ušlechtilá nízkouhlíková ocel 12 050 [4]. Podle materiálové klasifikace pomocí MC kódu, kterou využívá firma Sandvik Coromant, patří materiál 11 523 do kategorie ISO P. Jedná se tedy o dobře obrobitelný materiál, který je možné obrábět běžnými řeznými nástroji za použití doporučených řezných podmínek [6].

1.2.3 Polotovary dílů součásti

V tab.1.8 jsou uvedeny polotovary jednotlivých dílů předepsané ve výkresové dokumentaci viz příloha 1. Přehledné označení dílů sestavy je provedeno na obr. 1.3.

Tab. 1.8 Polotovary jednotlivých dílů sestavy.

Číslo dílu	Polotovar	Norma	Materiál
1	Plech 8	ČSN 42 5310.21	11 523.1
2	Plech 12	ČSN 42 5310.21	11 523.1
3	Plech 10	ČSN 42 5310.21	11 523.1
4	Plech 8	ČSN 42 5310.21	11 523.1
5	Tyč kruhová $\varnothing 25$ h 11	ČSN 42 6510	11 523.0



Obr. 1.3 Označení jednotlivých dílů sestavy.

1.2.4 Konstrukční rozbor součásti

Součást je svařená konstrukce skládající se z pěti dílů označených na obr. 1.3. Maximální rozměry součásti jsou 413 x 185 x 178 mm. Celková hmotnost je 3,68 kg. Sestava je svařena na základě výkresové dokumentace viz příloha 1 podle norem ČSN EN ISO 13920-BF a ČSN EN ISO 5817-C. Díly 1, 2, 3 a 4 jsou zhotoveny laserovým řezáním. Výkresová dokumentace sestavy a jednotlivých dílů viz příloha 1.

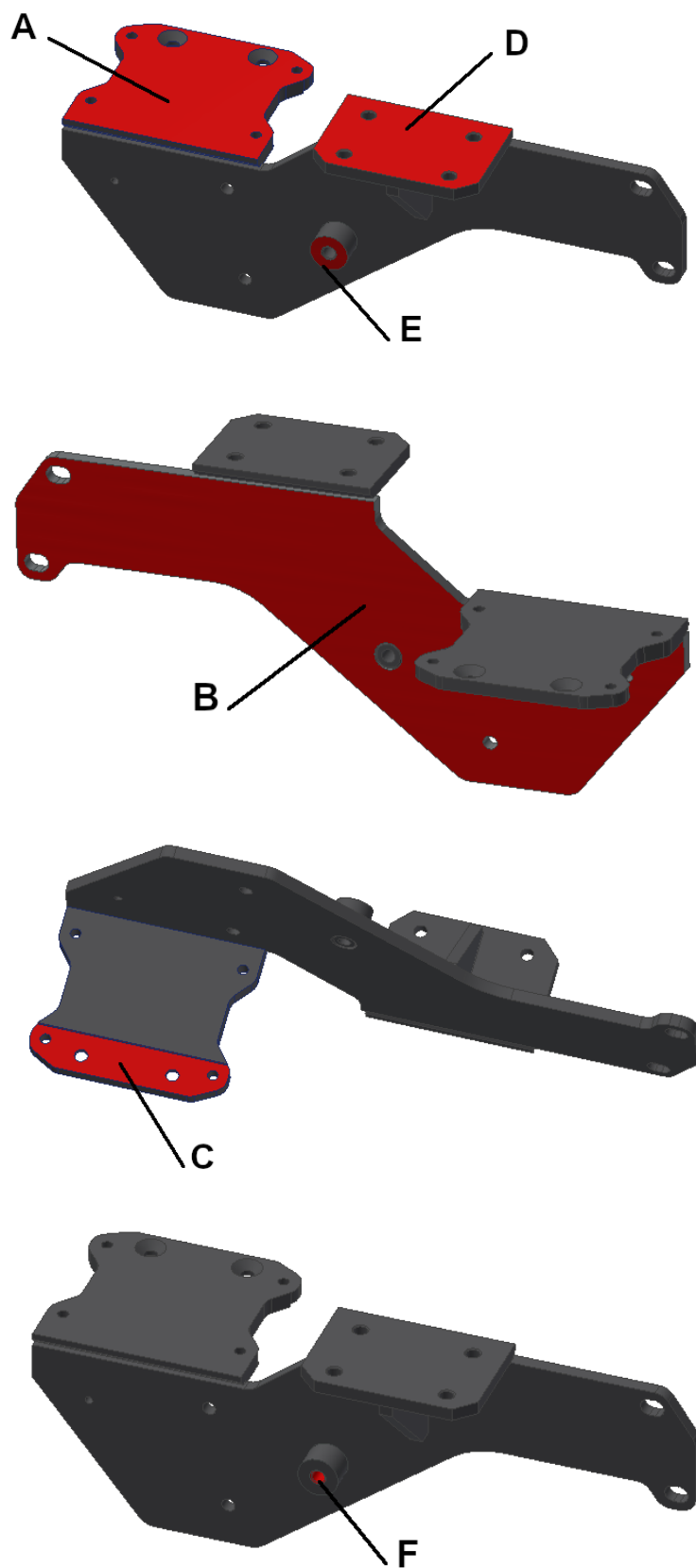
Díl 1 je laserově řezán včetně děr a otvorů pro závity. Pozice děr jsou vzhledem k předepsané toleranci funkčním prvkem. Dodržení tolerance pro díru $\varnothing 17_{-0,2}^0$ mm je důležité pro zajištění správného uložení dílu 5. Závity M6 – 6H a M10 – 6H jsou po povrchové úpravě kalibrovány.

U dílu 2 je po laserovém řezání frézována svarová plocha s úhlem zkosení 45° a také drážka, jejíž plochy dosedají na díl 1. Střední aritmetická úchylka profilu je pro tuto drážku předepsána $Ra = 12,5 \mu\text{m}$. Vzhledem k předepsaným geometrickým a rozměrovým tolerancím je nutné funkční plochy, díry a závity obrábět až po svařování. Během svařování dochází totiž vlivem nerovnoměrného ohřevu ke vzniku vnitřního pnutí, které vede k deformaci a tvarovým změnám. Vzniklé vnitřní pnutí není v tomto případě natolik velké, aby bylo nutné po svařování provádět operaci tepelné zpracování. Pro funkční plochu, pro přehlednost názorně označenou na obr. 1.4 jako plocha A, je předepsána geometrická tolerance kolmosti, která je vztažena k ploše označené na obr. 1.4 písmenem B. Od plochy A se dále odvíjí geometrická tolerance rovnoběžnosti předepsaná pro plochu označenou v obr. 1.4 písmenem C. Pro obě funkční plochy je předepsána střední aritmetická úchylka profilu $Ra = 12,5 \mu\text{m}$. Závity M8 – 6H jsou po povrchové úpravě kalibrovány.

U dílu 3 je po laserovém řezání frézována svarová plocha s úhlem zkosení 45° . Funkční plocha, označená na obr. 1.4 písmenem D, je obráběna až po svařování a je pro ni předepsána geometrická tolerance rovnoběžnosti vztažena k ploše A. Po frézování funkční plochy jsou frézovány závity M10 – 6H. Pro plochu D je předepsána střední aritmetická úchylka profilu $Ra = 12,5 \mu\text{m}$. Díl 4 je žebro, které slouží jako výztuž a podepírá díl 3. Závity M10 – 6H jsou po povrchové úpravě kalibrovány.

Díl 5 je rotační součást vyráběna soustružením z tyčového polotovaru. Pro zaručené uložení do dílu 1 je důležité dodržení tolerance $\varnothing 16,5^{+0,2}_0$ mm. V ose dílu je řezán závit M10 – 6H. Pro čelní plochu dílu názorně označenou na obr. 1.4 jako plocha E, je předepsána geometrická tolerance rovnoběžnosti, která je vztažena k ploše B. Pro závit v ose dílu označený písmenem F na obr. 1.4, je vzhledem k ploše B předepsána geometrická tolerance kolmosti. Vzhledem k charakteru uložení dílu 4 do dílu 1 je možné dosáhnout požadované tolerance soustružením dílu před svařováním. Vzniklé deformace způsobené svařováním nebudou mít zásadní vliv na dodržení předepsané geometrické tolerance. Při soustružení dílu 5 je pro zajištění funkčnosti důležité dodržení tolerance $17,5 \pm 0,05$ mm. Pro správné uložení dílu je na $\varnothing 16,5^{+0,2}_0$ mm soustruženo odlehčení a střední aritmetická úchylka profilu pro plochy, které dosedají na díl 1 je předepsána $Ra = 12,5 \mu\text{m}$. Pro čelní plochy je střední aritmetická úchylka profilu předepsána $Ra = 12,5 \mu\text{m}$. Závit M10 – 6H je po povrchové úpravě kalibrován.

Pro výrobu součásti se využívají technologie laserového řezání, frézování, soustružení, vrtání a svařování. Funkční plochy obráběné frézováním jsou dobře dostupné běžně využívanými frézovacími nástroji. Vzhledem k rozmístění obráběných ploch na součásti jsou pro obrobení sestavy nutná dvě upnutí. Tolerance pro obrábění je předepsána normou ISO 2768-mK. Povrchová úprava součásti se provádí podle předepsané podnikové normy zákazníka.



Obr. 1.4 Funkční plochy součásti.

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY SOUČÁSTI

V této kapitole je popsán stávající stav výroby součástí. Jsou zde uvedeny a charakterizovány využívaná strojní zařízení, nástroje a měřidla. Dále je popsán postup výroby součástí.

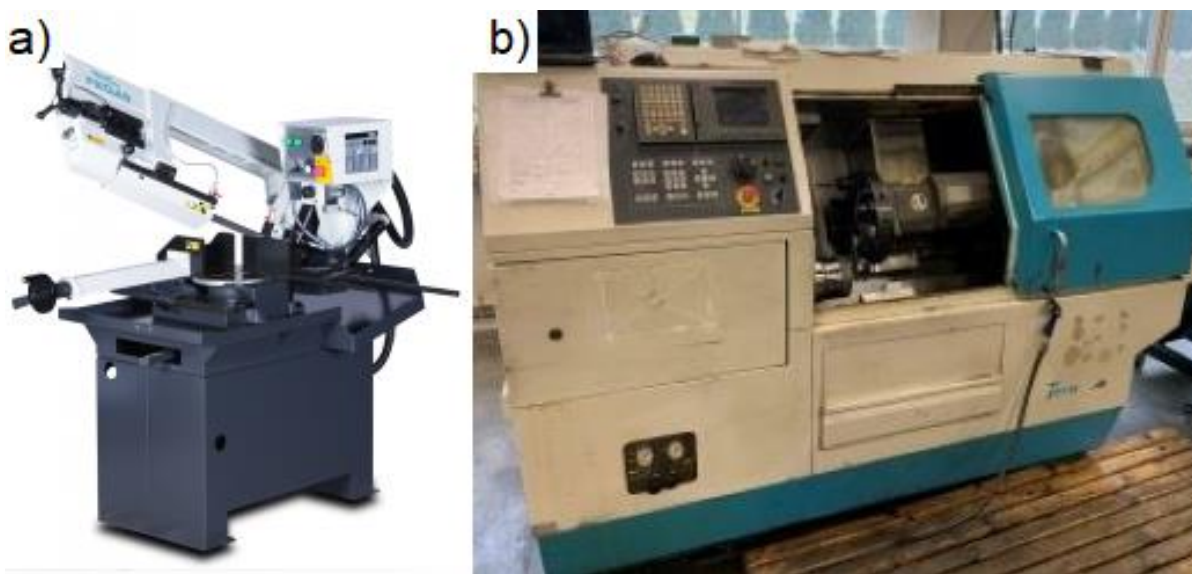
2.1 Výrobní strojní zařízení

S1 – Gravitační pásová pila PEGAS 230 x 280 GH-LR

Pro dělení tyčového polotovaru na přířezy požadované délky je využívána gravitační pásová pila Pegas 230 x 280 GH-LR, která je zobrazena na obr. 2.1 a). Pracovní pohyb ramene je zajištěn jeho vlastní hmotností. Rychlost pohybu je regulována hydraulickým válcem. Pila umožňuje dělení tyčí plného průřezu, ale také dělení celé řady profilů v kolmých nebo úhlových řezech. Při provozu stroje je nutná přítomnost obsluhujícího pracovníka, který zakládá, posouvá a odebírá materiál, reguluje rychlost řezného posuvu pomocí škrťacího ventilu a po automatickém vypnutí pilového pásu v dolní poloze provádí zdvih ramene. Vzhledem k tomu, že provoz pily není automatizován je vhodná pro použití zejména v kusové a malosériové výrobě [7].

S2 – CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90

Pro soustružení dílu 5 je využíván CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90 vyvinutý firmou Colchester. Stroj je vybaven třískovým dopravníkem a zachytávačem dílů. Pro plně automatizovaný chod stroje je možné připojit podavač tyčí MBF 1000. Do revolverové hlavy s upínacím systémem VDI 30 je možné upnout až 12 nástrojů, což umožňuje obrábět i složitější součásti, jejichž výroba vyžaduje více nástrojů. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 2. Stroj je zobrazen na obr. 2.1 b) [8].



Obr. 2.1 a) gravitační pásová pila PEGAS 230 x 280 GH-LR [7], b) soustruh Tornado A90.

S3 – Sloupová vrtačka Heltos VS 32 B

Sloupová vrtačka je při výrobě součástí využívána k řezání závitů na dílu 1. Samotné zařízení je vhodné pro vrtání, vystružování a řezání závitů. Vřeteník a konzola jsou upevněny na ocelovém sloupu, kolem kterého je umožněn jejich otočný pohyb o 360°. Výškové nastavení stolu a vřeteníku je umožněno s využitím ozubeného hřebene. Elektromotor má výkon 2 200 W a pohon rychlostní skříně je proveden pomocí klínového řemene. Vrtačka umožňuje změnu mezi patnácti stupni otáček a čtyřmi stupni strojních posuvů. Otáčky vřetení jsou v rozsahu 56 až 2 240 min⁻¹. Max. možný průměr vrtáku je 32 mm. Pro řezání závitů je nespornou výhodou možnost nastavení hloubky vrtání s dorazem na milimetrové stupnici a možnost využití závitovací (reverzační) hlavy. Sloupová vrtačka Heltos VS 32 B je zobrazena na obr. 2.3 a) [9].

S4 – Svařovací přístroj Phoenix 355 Progress puls FA KGE

Svařovací přístroj je využit ke svaření dílů ve svařovacím přípravku. Obrázek svařovacího přístroje Phoenix 355 Progress puls FA KGE viz obr. 2.2 b). Jedná se o impulzní multiprocesní svařovací přístroj MIG/MAG s integrovaným pohonem posuvu drátu. Zařízení je kompaktní a umístěné na transportním vozíku, který umožňuje snadnou přepravu. Chlazení hořáku je zajištěno vodou s využitím chladicího modulu cool 50. Rozsah nastavení svařovacího proudu je 5 až 350 A. Max. příkon při metodě MIG/MAG je 12,7 kVA a doporučený výkon generátoru je 18,7 kVA. Díky vysokému stupni účinnosti a funkci “standby“, zařízení šetří proud. Rychlost posuvu drátu je v rozsahu 0,5 až 24 m·min⁻¹ [10].



Obr 2.2 a) sloupová vrtačka Heltos VS 32 B [9], b) svařovací přístroj Phoenix 355 Progress puls FA KGE [11].

2.2 Použité nástroje a měřidla

T1 – Závítníky Narex M6 – 6H, M8 – 6H, M10 – 6H

Jedná se o závítníky pro řezání metrického závitu s přímou drážkou a lamačem třísek. Materiál závítníků je rychlořezná ocel HSSE. Pro závítníky platí norma DIN 371. Nástroje jsou určeny pro řezání závitů v průchozích otvorech. Lícování závítníků je ISO 2 – 6H. Nástroje jsou vhodné pro obrábění konstrukčních ocelí s doporučenou řeznou rychlostí 10 až 14 m·min⁻¹. Během řezného procesu je nutné zajistit mazání řezným olejem nebo emulzí. Obrázek závítníku Narex M6 – 6H viz obr. 2.4 a) [12].

T2 – Automatická reverzovací závitová hlava MK2, Warco

Jedná se o univerzální závitovou hlavu určenou pro vrtačky, frézky a soustruhy, která umožňuje závitování v průchozích i neprůchozích otvorech. Do hlavy je možné upnout závítníky v rozmezí M3 až M12. Max. hodnota otáček je 7 000 min⁻¹. Automatický zpětný mechanismus umožňuje změnu otáček po dosažení nastavené hloubky. Nastavitelná třecí spojka brání poškození závítníků. Pro upnutí závitové hlavy se využívá Morse kužel MK2. Automatická reverzovací závitová hlava MK2, Warco je zobrazena na obr. 2.4 b) [13].

T3 – Vrták ze slinutého karbidu NAVEL 5xD bez chlazení Ød1 = 8,5

Pro vrtání otvoru pro závit při výrobě dílu 5 je využíván vrták Ø8,5 mm ze slinutého karbidu s označením NAVEL 5xD bez chlazení Ød1 = 8,5. Obrázek vrtáku viz obr. 2.4 c). Řezný nástroj je dodáván společností NAVEL. Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí jsou zaznamenány v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí [14].

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	100 až 110
Posuv na otáčku	[mm]	0,20

T4 – Pilový pás PILOUS ARG 200, 2490 x 20 x 0,9 M42 8/12z

Pro řezání na pásové pile je využíván univerzální pilový pás PILOUS ARG 200, který umožňuje obrábět širokou škálu materiálů včetně ocelí do tvrdosti 369 HB, což je označení tvrdosti podle Brinella. Pás je určený pro obrábění plných materiálů s průměrem 20 až 40 mm. Zuby nástroje jsou zhotoveny z oceli HSS – M42 s obsahem kobaltu. Pilový pás je zobrazen na obr. 2.4 d) [15].

T5 – Vyměnitelná břitová destička Moustik WNGM 080404-MM DH820 a nožový držák Moustik DWLNR 2525 M08

Pro vnější soustružení je použita vyměnitelná břitová destička (dále „VBD“) WNGMG 080404-MM DH820, zobrazena na obr. 2.3 b). Jedná se o destičku ze slinutého karbidu vhodnou pro obrábění nízkolegovaných a korozivzdorných ocelí. Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí jsou zaznamenány v tab. 2.2. VBD je upnuta v nožovém držáku DWLNR 2525 M08, který je vidět na obr. 2.3 a). VBD a nožový držák jsou dodávány společností Moustik.

Tab. 2.2 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí [16].

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	180 až 250
Posuv na otáčku	[mm]	0,2 až 0,3
Šířka záběru hlavního ostří	[mm]	0,5 až 3,0

T6 – VBD ISCAR VCMT 160404-SM a nožový držák AKKO SVHCR 2020 K16

Pro vnější soustružení načisto je využívána VBD ISCAR VCMT 160404-SM zobrazena na obr. 2.3 d). Jedná se o jednostrannou kosočtvercovou destičku ze slinutého karbidu vhodnou pro obrábění ocelí. Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí viz tab. 2.3. VBD je upnuta v nožovém držáku AKKO SVHCR 2020 K16, který je zobrazen na obr. 2.3 c).

Tab. 2.3 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí [17].

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	170 až 300
Posuv na otáčku	[mm]	0,05 až 0,25
Šířka záběru hlavního ostří	[mm]	0,50 až 2,50

T7 – Závitník Narex M10 – 6H strojní krátký závitník se šroubovitou drážkou 35°

Závitník je využíván k řezání závitu M10 – 6H při výrobě dílu 5. Nástroj je vyroben z výkonné řezné oceli HSSE a díky šroubovitě drážce s úhlem 35° umožňuje řezání závitů v neprůchozí díře. Závitník je vhodný pro obrábění konstrukčních ocelí s doporučenou řeznou rychlostí 10 až 14 m·min⁻¹. Lícování závitníku je ISO2 – 6H a norma závitníku je DIN 352. Závitník Narex M10 – 6H je zobrazen na obr. 2.4 e) [18].

T8 – Vrták z rychlořezné oceli s nspecifikovaným označením.

Jedná se o speciálně podnikově upravený vrták z rychlořezné oceli, který slouží ke sražení hrany pod závit při výrobě dílu 5. Hrot vrtáku je zbroušen pro dosažení příslušného sražení. Není specifikováno označení ani dodavatel vrtáku. Upravený vrták viz obr. 2.4 f).

T9 – VBD MITSUBISHI GY2M0300F030N-GM a nožový držák Moustik 2020-3C-R DGN

Pro upichování dílu 5 se využívá VBD MITSUBISHI GY2M0300F030N-GM zobrazena na obr. 2.3 f). Jedná se o VBD ze slinutého karbidu s délkou řezné hrany 3,0 mm. Max. hloubka záběru je 19,2 mm. Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí viz tab. 2.4. Pro upnutí VBD slouží nožový držák Moustik 2020-3C-R DGN, který je vidět na obr. 2.3 e) [19].

Tab. 2.4 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí [19].

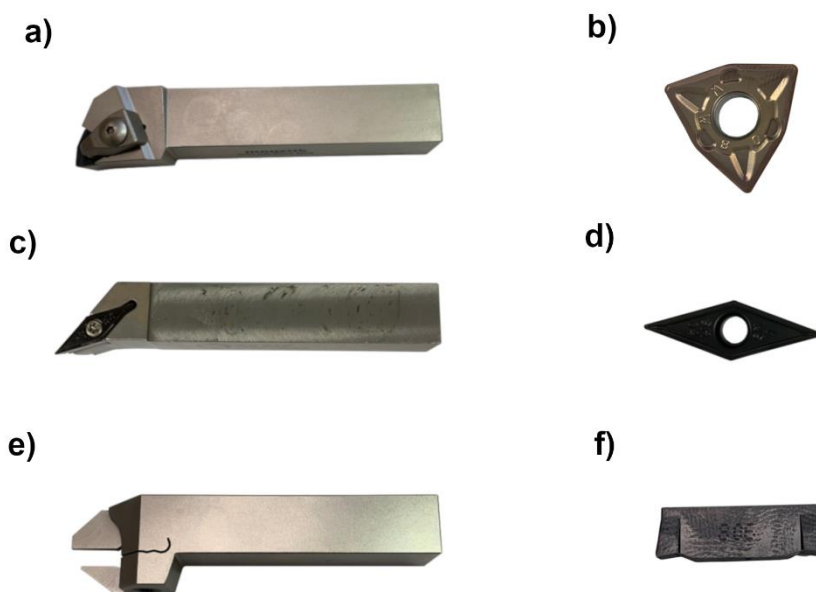
Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	100 až 180
Posuv na otáčku	[mm]	0,10 až 0,25

T10 – Kuželový záhlubník VOLKEL a Aku vrtačka Metabo BS 18 Li

Odstranění ostřin a sražení hran po upíchnutí je prováděno kuželovým záhlubníkem z rychlořezné oceli vyrobeným společností VOLKEL. K operaci je použita vhodná velikost záhlubníku z dostupné sady určené pro úpravu otvorů s průměrem 6,3 až 20,5 mm. Nástroj je upnut do Aku vrtačky Metabo BS 18 Li a operace je prováděna ručně. Obrázek záhlubníku viz obr. 2.4 g).

T11 – Plochý sekáč a ocelový kartáč s nspecifikovaným označením

Plochý sekáč a ocelový kartáč se využívají k ručnímu čištění součástí po operaci svařování. Nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.4 h) a i).



Obr. 2.3 Nožové držáky a VBD.

a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



Obr. 2.4 Přehled využívaných nástrojů [12, 13, 14, 15, 18, 20].

M1 – Digitální posuvné měřítko Mitutoyo Digital ABS AOS Caliper 0-150 mm

Pomocí digitálního posuvného měřítka je možné měřit většinu rozměrů jednotlivých dílů a součástí. Díky jednoduchému použití je vhodné zejména pro rychlou mezioperační kontrolu. Měřidlo je schopno měřit rozsah až 150 mm s přesností $\pm 0,02$ mm. Díky využití elektromagnetického indukčního snímače je zařízení odolné vůči nečistotám na povrchu pravítka. Měřítka Mitutoyo Digital ABS AOS Caliper 0–150 mm je vidět na obr. 2.5 a) [21].

M2 – Lineární výškoměr Mitutoyo LH-600 E

Lineární výškoměr Mitutoyo LH-600 E, viz obr. 2.5 b), je využíván pro vysoce přesnou kontrolu, zejména prvních kusů výrobní dávky. Umožňuje měření v rozmezí 0 až 972 mm s rozsahem posuvu 600 mm. Zařízení je užíváno např. pro měření délkových rozměrů, průměrů otvorů a hřidelí, měření tloušťky, určení úhlů, výpočtu rozteče, měření pravouhlosti, přímosti, sklonu a roviny. Výškoměr umožňuje vyhodnocení tolerance. Zařízení dosahuje vysoké přesnosti až $(1,1 + 0,6 L/600)$ μm , kde L je měřená délka v mm. Měřidlo umožňuje automatické opakování dříve uložených programů pro měření součástí a vyhodnocení jednotlivých výsledků s jejich následným uložením pomocí USB výstupu [22].

M3 – Hloubkoměr Mitutoyo Digital ABS AOS Depth Gauge 0-150 mm

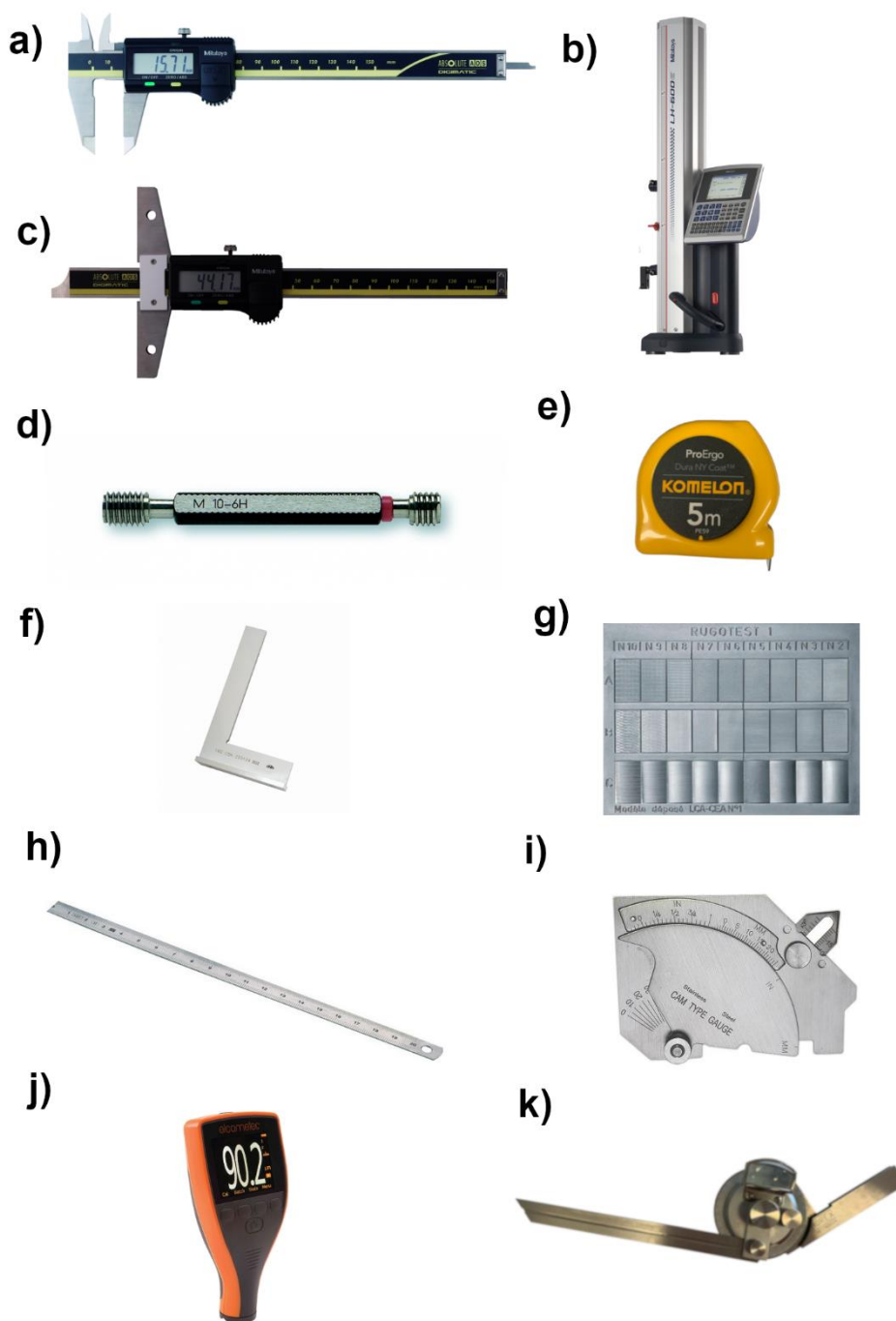
Pro měření hloubkových rozměrů je využíván digitální hloubkoměr Mitutoyo Digital ABS AOS Depth Gauge 0–150 mm, zobrazený na obr. 2.5 c). Zařízení umožňuje měřit v rozsahu 0 až 150 mm s přesností $\pm 0,02$ mm [23].

M4 – Závitový kalibr M6 – 6H, M8 – 6H, M10 – 6H

Trnové závitové kalibry umožňují rychlou a snadnou kontrolu vnitřních závitů. Jsou tvořeny dobrým závitovým koncem a zmetkovým závitovým koncem. Dobrým závitovým koncem trnu se provádí kontrola virtuálního středního průměru a dodržení dolního mezního rozměru velkého průměru. Při správně vyrobeném závitu je možné dobrý konec trnu lehce zašroubovat v celé délce závitu. Zmetkovým koncem závitového trnu je kontrolováno, zda skutečný střední průměr nepřesahuje stanovený největší rozměr. Při správně vyrobeném závitu je možné zmetkový konec trnu zašroubovat nejvýše v rozsahu dvou otáček z obou konců závitu. Zmetkový konec trnu je označen červeně. Obrázek závitového kalibru pro závit M10 – 6H viz obr. 2.5 d) [24].

M5 – Svinovací metr Kamelon 0-5000 mm

Svinovací metr se uplatňuje zejména při dělení hutního polotovaru na pásové pile. Používá se svinovací metr značky Kamelon o délce 5 000 mm, který je na obr. 2.5 e). Výhodou je možnost snadného a rychlého užití při aplikacích, kde není vyžadována vysoká přesnost měření.



Obr. 2.5 Přehled využívaných měřidel [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

M6 – Úhelník 300 x 200 mm nspecifikované značky

Úhelník 300 x 200 mm je využíván zejména pro rychlou orientační kontrolu přesnosti po svařování. Měřidlo je zobrazeno na obr. 2.5 f).

M7 – Vzorkovnice drsnosti Rugotest 1

Vzorky ze vzorkovnice drsnosti Rugotest 1, která je zobrazena na obr. 2.5 g), slouží k porovnání drsnosti zkoumaného povrchu. Porovnání povrchu a vzorku se provádí buď dotekem nebo vizuálně. Vzorkovnice obsahuje vzorky pro válcové frézování s drsností $R_a = 3,2$ až $12,5 \mu\text{m}$, frézování s drsností $R_a = 0,8$ až $12,5 \mu\text{m}$ a pro soustružení a hoblování s drsností $R_a = 3,2$ až $12,5 \mu\text{m}$. Ve vzorkovnici jsou také vzorky pro lapování, broušení ploch, honování a superfinišování [25].

M8 – Ocelové měřítko nespecifikovaného označení, délky 500 mm

Pro kontrolu rozměrů, zejména po operaci svařování, je využíváno ohebné ocelové měřítko o délce 500 mm. Ocelové měřítko je vidět na obr. 2.5 h).

M9 – Měrka na měření svarů Cambridge

Měrka Cambridge, zobrazena na obr. 2.5 i), je určena pro všeobecnou rozměrovou inspekci svařovaných výrobků. Měrka umožňuje měření úhlu svarového úkosu, měření přesazení, měření paty koutového svaru a svarového převýšení, měření velikosti koutového svaru, určení hloubky zápalu a měření čela kořene a kořenové mezery [26].

M10 – Tloušťkoměr Elcometer 456

Tloušťkoměr Elcometer 456, který je vidět na obr. 2.5 j), slouží k nedestruktivnímu měření tloušťky suchých vrstev nátěrů. Zařízení dosahuje přesnosti ± 1 až 3% . Ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. je využívána varianta s vestavěnou sondou, která umožňuje rozsah měření 0 až $1\,500 \mu\text{m}$. Naměřená data je možné pomocí USB nebo Bluetooth přenést do počítače, kde je pro další práci využíván volně dostupný software ElcoMaster 2.0. Měřidlo je odolné vůči vodě a prachu. Díky pevné konstrukci odolává nárazům [29].

M11 – Univerzální úhloměr s lupou $4\times 90^\circ$, HOREX

Pro měření úhlů je využíván univerzální úhloměr $4\times 90^\circ$ vyráběný společností HOREX. Sada obsahuje pravítka o délce 150, 200 a 300 mm. Přesnost nástroje udávaná výrobcem je $\pm 15'$. Integrovaná lupa umožňuje snadný odečet naměřené hodnoty. Úhloměr HOREX je zobrazen na obr. 2.5 k).

2.3 Postup výroby součástí

V následující podkapitole je popsán stávající výrobní postup součástí. Při současném stavu výroby je značná část operací prováděna v kooperaci s jinými firmami. Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nejsou přesněji popsány výrobní operace prováděné kooperujícími firmami. Operace prováděné společností KOVO Litomyšl s.r.o. jsou popsány detailně.

2.3.1 Výroba dílů 1, 2, 3 a 4

Vzhledem k charakteru dílů 1, 2, 3 a 4 je pro jejich výrobu vhodné použít technologii laserového řezání, která umožňuje výrobu s vysokou rozměrovou přesností a kvalitou řezu. Vzhledem k tomu, že společnost KOVO Litomyšl s.r.o. nedisponuje strojem pro laserové řezání, je tato operace prováděna v kooperaci. Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nebude uveden název společnosti, která díly vyrábí. Kooperující firma sídlí v blízkém okolí města Litomyšl.

Jednotlivé díly jsou laserově řezány z plechového polotovaru podle výkresové dokumentace viz příloha 1. Díl 1 je řezán včetně děr a otvorů pro závity. Pro závit M6 – 6H je připravena díra o průměru 5 mm a pro závit M10 – 6H díra o průměru 8,5 mm. Za současného stavu výroby je v kooperaci prováděno také frézování svarových úkosů u dílů 2 a 3, podle výkresové dokumentace viz příloha 1. Vyrobené díly jsou zabaleny a připraveny k expedici. V tab. 2.5 je zaznamenán technologický postup operací, které jsou vykonávány firmou KOVO Litomyšl s.r.o. při výrobě dílů 1, 2, 3 a 4.

Tab. 2.5 Technologický postup výroby dílů 1, 2, 3 a 4.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Stroj/nástroj/měřidla
05	Kooperace	Díl 1, 2, 3 a 4. Laserové řezání, frézování a doprava.	
10	Příjem materiálu	Díl 1, 2, 3 a 4. Příjem dílů na sklad.	
15	Vstupní kontrola	Díl 1, 2, 3 a 4. Provedení vstupní kontroly. Kontrola četnosti dávky. Kontrola materiálového atestu. Díl 2 a 3. Kontrola frézovaných rozměrů. Uvolnění materiálu pro další operace.	M1, M2
25	Manipulace	Díl 1. Manipulace s dílem na další pracoviště k provedení následující operace – řezání závitů.	
30	Obrábění	Díl 1. Řezání závitů podle výkresové dokumentace. - řezat závit M6 – 6H ($v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 1 \text{ mm}$) - řezat závit M10 – 6H ($v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 1,5 \text{ mm}$)	S3, T1, T2
35	Obrábění	Díl 1. Srazit hrany pod závity.	S3, T10
40	Kontrola	Díl 1. Kontrola závitů pomocí kalibru.	M4
45	Manipulace	Díl 1, 2, 3 a 4. Manipulace s hotovými díly na další pracoviště k provedení následující operace – zavaření do sestavy.	

2.3.2 Výroba dílu 5

Výroba dílu 5 probíhá výhradně ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Tyčový polotovár v délce 3 000 mm je dodáván společností PRAŽÁK CEREKVICE s.r.o. Z důvodu usnadnění manipulace a možnosti upnout tyčový polotovár do univerzálního sklíčidla CNC obráběcího stroje je nutné dělení polotovaru na přířezy o délce 1 000 mm. Technologický postup výroby dílu 5 viz tab. 2.6.

Tab. 2.6 Technologický postup výroby dílu 5.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Stroj/nástroj/měřidla
05	Dělení polotovaru	Dělení hutního polotovaru, tyč Ø25 h11, materiál 11 523.0. - tyč řezat na přířezy dlouhé 1 000 mm ($v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 160 \text{ mm}$)	S1, T4
10	Kontrola	Kontrola délky tyčového přířezu.	M5
15	Manipulace	Manipulace s tyčovým polotovarem na další pracoviště k provedení následující operace – soustružení dílu 5.	
20	Manipulace	Upnutí tyčového přířezu do univerzálního sklíčidla stroje. Ruční nastavení polotovaru pro soustružení s využitím dorazu.	S2, M1
25	Obrábění	Soustružení. - soustružit načisto čelo obrobku ($n = 1\,650 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$) - soustružit nahrubo Ø16,5 $^{+0,2}_0$ mm do délky 7,5±0,2 mm včetně sražení 1x45° ($n = 1\,650 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$) - soustružit načisto Ø16,5 $^{+0,2}_0$ mm do délky 7,5±0,2 mm včetně sražení 1x45° ($n = 2\,000 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$) - soustružit načisto na Ø16,5 $^{+0,2}_0$ mm v délce 7,5 mm odlehčení 0,2 mm ($n = 2\,000 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$) - soustružit načisto na Ø25 mm v délce 7,5 mm srazit ostrou hranu ($n = 2\,000 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$)	S2, T5 S2, T6
30	Obrábění	Soustružení. - v ose součásti soustružit díru pro závit M10 – 6H o Ø8,5 mm s hloubkou 29 mm ($n = 2\,000 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,15 \text{ mm}$)	S2, T3
35	Obrábění	Soustružení. - srazit hrany pod závit ($n = 700 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,05 \text{ mm}$)	S2, T8

40	Obrábění	Soustružení. - řezat závit M10 – 6H do hloubky 28 mm ($n = 80 \text{ min}^{-1}$, $f = 1,5 \text{ mm}$)	S2, T7
45	Obrábění	Soustružení. - upíchnout obrobek v délce $25 \pm 0,2 \text{ mm}$ a srazit hranu ($n = 1\,100 \text{ min}^{-1}$, do hloubky 11 mm $f = 0,07 \text{ mm}$, dokončení upíchnutí $n = 900 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,04 \text{ mm}$)	S2, T9
50	Manipulace	Vyjmutí obrobku ze zachytávače dílů.	
65	Kontrola	Kontrola zhotoveného dílu pomocí posuvného měřítka a závitového kalibru.	M1, M4
60	Manipulace	Manipulace s obrobkem do zámečnické dílny k provedení odjehlení a stražení hrany pod závit.	
65	Zámečnická práce	Odjehlíť otřepy po upíchnutí a srazit hranu pod závit.	T10
70	Kontrola	Kontrola pomocí závitového kalibru.	M4
75	Manipulace	Manipulace s hotovým dílem na další pracoviště k provedení následující operace – zavaření do sestavy.	

2.3.3 Svařování

Technologická operace svařování je prováděna ve svařovacím boxu v hlavní výrobní hale společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Ke svařování je použit svařovací přístroj S4, detailněji popsáný v podkapitole 2.1. Svařování je provedeno podle výkresové dokumentace sestavy viz příloha 1. Sestava je svařována podle norem ČSN EN ISO 13920-BF a ČSN EN ISO 5817-C svařovací metodou MAG 135. Pro zajištění požadované přesnosti svařování je využíván svařovací přípravek, který slouží k vzájemnému ustavení dílů. Na obr. 2.6 jsou vidět jednotlivé díly upnuté do svařovacího přípravku před zahájením svařování. Svařovací přípravek slouží také ke kontrole dílů. V případě rozměrové nebo tvarové odchylky není možné daný díl do přípravku upnout. Jako přídatný materiál je využíván drát OK AristoRod 12.50 s průměrem 1,0 mm vyráběný společností ESAB. Během svařování je použit ochranný plyn CORGON 18. Jedná se o směs obsahující 82 % argonu a 18 % oxidu uhličitého. Některé důležité parametry svařovacího procesu jsou uvedeny v tab. 2.7.

Tab. 2.7 Parametry svařovacího procesu.

Proud	[A]	210
Napětí	[V]	28 až 29
Tepelný příkon	[kJ·mm ⁻¹]	0,85
Průtoková rychlost plynu	[l·min ⁻¹]	12
Druh proudu/polarita	[–]	DC+

Vzhledem k tomu, že se jedná o zaběhlou sériovou výrobu s využitím svařovacího přípravku, není nutná důkladná kontrola jednotlivých součástí. Průběžnou kontrolu dodržení přesnosti provádí obsluha svařovacího stroje přibližně u každého dvacátého vyrobeného kusu. Důkladně je kontrolován pouze první kus výrobní dávky. Kontrola prvního kusu je provedena kontrolním manažerem na jeho pracovišti. Pro kontrolu je využito měřidel s označením M1, M2, M5, M6, M8 a M9. Po operaci svařování je nutné ze svařence odstranit nežádoucí kuličky a nečistoty. Za současného stavu výroby čištění provádí obsluha svařovacího stroje. K tomuto procesu jsou nejčastěji využívány nástroje s označením T11. Následně jsou součásti přesunuty do skladu, kde dojde k jejich zabalení a přípravě na přesun do kooperující firmy k provedení následující operace – frézování sestavy.



Obr. 2.6 Díly součásti upnuté ve svařovacím přípravku.

2.3.4 Frézování sestavy

Za současného stavu výroby je frézování funkčních ploch součástí prováděno v kooperaci. Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nebude uveden název kooperující společnosti. Dopravu součástí zajišťuje společnost KOVO Litomyšl s.r.o. Na součásti jsou frézovány funkční plochy včetně děr a závitů M8 – 6H a M10 – 6H podle výkresové dokumentace viz příloha 1. Funkční plochy součástí jsou pro větší přehlednost názorně ukázány v podkapitole 1.2.4.

Po dovozu obrobených součástí zpět do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. proběhne jejich příjem na sklad. U náhodně vybraných součástí jsou následně kontrolovány frézované rozměry dle výkresové dokumentace. Pro kontrolu jsou využívány měřidla označená M1, M2, M3, M4, M6, M7 a M11. Počet kontrolovaných součástí je závislý na velikosti výrobní dávky. Tato součást je nejčastěji vyráběna ve výrobní dávce 100 ks. V takovém případě je pro kontrolu vybráno 5 ks. Po kontrole jsou součásti připraveny na přesun do kooperující firmy k provedení následující operace – povrchová úprava.

2.3.5 Povrchová úprava

Povrchová úprava je prováděna v kooperaci se společností S & Ř, CH KOVO se sídlem v Chroustovicích. Dopravu součástí zajišťuje společnost KOVO Litomyšl s.r.o. Povrchová úprava je realizována v průběžné lakovací lince. Nejprve je provedena předúprava, která se skládá z odmaštění a fosfátování. Následně jsou nanесeny dvě vrstvy práškové barvy. První vrstva slouží jako základová. Druhá vrstva neboli vrchní vrstva je v barvě zemědělského stroje, pro který je součást určena. Přesná specifikace povrchové úpravy součástí je předepsána v podnikové normě zadavatele součástí.

Po dopravení dílů z povrchové úpravy zpět do výrobní haly KOVO Litomyšl s.r.o., je provedena vstupní kontrola. Kontroluje se zejména celistvost a tloušťka povrchové úpravy, případně je kontrolován výskyt jiných vad. Pro kontrolu je využíváno měřidlo s označením M10. Součásti pro kontrolu jsou náhodně vybírány a jejich počet závisí na velikosti výrobní dávky. Po kontrole následuje přesun součástí do zámečnické dílny, kde je provedena kalibrace závitů. Závitů jsou kalibrovány ručně pomocí závitníků Narex s označením T1, které jsou upnuty do Aku vrtačky Metabo BS 18 Li. V rámci této operace pracovník provádí dodatečnou vizuální kontrolu povrchové úpravy. Hotové součásti jsou nakonec převezeny do skladu, kde jsou připraveny na vyzvednutí zadavatelem.

2.4 Rozbor časové náročnosti technologických procesů

Spotřeba času výrobního procesu je jeden ze základních ukazatelů efektivnosti organizace práce a pracovní metody. Na spotřebu času lze nahlížet z hlediska pracovníka nebo pracovního prostředku (výrobní zařízení nebo předmět výroby). Přesné popsání a stanovení jednotlivých skupin času je důležité pro následné určování výrobních nákladů, zjišťování rezerv, odměňování pracovníků nebo pro zlepšení organizace práce. Z pohledu účelnosti práce je možné spotřebu času rozdělit na časy nutné a časy zbytečné neboli ztrátové. Mezi časy nutné patří čas potřebný k vykonání předepsané práce při plném využití strojního zařízení a správné organizaci pracoviště i práce, dále čas obecně nutných přestávek a čas podmíněně

nutných přestávek. Čas obecně nutných přestávek je např. doba na odpočinek pracovníka při mimořádně namáhavých činnostech nebo při práci ve zdravotně nevhodném prostředí. Do obecně nutných přestávek patří také čas určený pro přestávku na svačinu nebo doba potřebná k vykonání osobních potřeb. Čas podmíněně nutných přestávek souvisí s využívanou technikou a organizací práce. Jedná se např. o dobu interference při vícestrojové obsluze nebo čas nutný k zahřátí stroje na provozní teplotu. Jednotlivé nutné časy se skládají ze tří složek: času jednotkového, dávkového a směnového. Jednotkové časy označují nutné časy, jejichž spotřeba je úměrná počtu jednotek zpracovaného množství (např. ks nebo kg). Dávkové a směnové časy označují nutné časy, jejichž spotřeba je úměrná počtu dávek, respektive počtu odpracovaných směn [30, 31].

Spotřeba času je běžně určována pomocí časových normativů. Časový normativ obsahuje spotřebu času pro přesně vymezenou část pracovní operace v závislosti na jednom nebo více činitelích. Takovými činiteli mohou být technické, technologické nebo organizační podmínky vykonávané práce. Např. normativ času pro upínání je zpracován v závislosti na druhu upínače a hmotnosti obrobku. Normativy jsou podle vzniku rozlišovány na normativy základní (prvotní) a normativy odvozené (sdružené). Základní normativy se vztahují k úkonům nebo pracovním pohybům a pro jejich vytvoření je nutné provést mnoho výpočtů, zkoušek a měření. Odvozené normativy vycházejí ze základních normativů a nejčastěji jsou vytvořeny jejich sjednocením [30, 31].

Společnost KOVO Litomyšl s.r.o. nevyužívá časové normy pro určování spotřeby času. V případě potřeby zjištění časové náročnosti výroby, např. při kalkulaci nákladů na výrobu nově zaváděné součásti, je spotřeba času odhadována na základě praktických zkušeností a pomocí porovnání s rozměrově, tvarově a technologicky podobnou součástí, která je již v zaběhlé výrobě. Jedná se o jednoduchou metodu s nízkou přesností, která slouží k určení orientační hodnoty spotřeby času.

Aby bylo možné s dostatečnou přesností porovnat stávající a inovativní výrobní proces, bude určena spotřeba času pro jednotlivé technologické operace prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. při výrobě dané součásti. Jednotlivé časy budou určeny odečtením z CNC programů, s využitím časových normativů určených pomocí programu TPV výpočty, měřením přímo ve výrobě nebo odhadem dílčích časů na základě pozorování a praktických zkušeností pracovníků společnosti. Cílem je s dostatečnou přesností pro účely této práce určit spotřebu času jednotlivých operací při výrobě dané součásti. Tyto hodnoty budou následně využity k vyčíslení nákladů. Spotřeba času bude určována zvlášť pro jednotlivé pracoviště a bude rozlišováno mezi strojní a ruční prací. Důvodem jsou rozdílné sazby za práci.

Aby bylo možné určit časovou náročnost výroby jednoho kusu je nutné stanovit velikost výrobní dávky a charakterizovat výrobní proces. Běžná velikost výrobní dávky pro výrobu dané součásti je 100 ks. Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nebude uvedena přesná hodnota předpokládané roční produkce součásti. Pro účely této práce bude počítáno s roční produkcí 700 ks. Pro všechny výrobní operace platí jednostrojová obsluha.

2.4.1 Přehled a charakteristika určovaných časů

V této podkapitole je uvedeno označení a stručná charakteristika jednotlivých časů. Časy jsou označeny a charakterizovány podle [30, 31]. Využití těchto časů ke kalkulaci časové náročnosti je vhodně upraveno pro potřeby této práce.

t_s – Spotřebovaný strojní čas na výrobu jednoho kusu

Jedná se o souhrn časů potřebných pro výrobu jednoho kusu na daném strojním pracovišti. Spotřebovaný strojní čas pro výrobu jednoho kusu lze určit podle rovnice 2.1, kde i je počet kusů výrobní dávky.

$$t_s = t_{sA1} + \frac{t_{sB1}}{i} \quad (2.1)$$

t_r – Spotřebovaný ruční čas na výrobu jednoho kusu

Zahrnuje časy ruční práce potřebné pro výrobu jednoho kusu na daném pracovišti. Spotřebovaný ruční čas pro výrobu jednoho kusu je možné vypočítat pomocí rovnice 2.2.

$$t_r = t_{rA1} + \frac{t_{rB1}}{i} \quad (2.2)$$

t_{sA1} – Čas jednotkové práce strojní

Zahrnuje časy potřebné pro provedení pracovních úkonů bezprostředně spojených s realizací operace na daném strojním pracovišti. Pro větší přehlednost je souvislost mezi jednotkovými časy znázorněna na obr. 2.7.

t_{sA101} – Čas jednotkové pravidelné práce strojní

Čas spotřebovaný na strojním zařízení pro pravidelné úkony při výrobě každého kusu.

t_{sA102} – Čas jednotkové nepravidelné práce strojní

Čas potřebný k nepravidelné obsluze strojního zařízení, která zajišťuje technologický průběh prováděné operace (např. výměna a seřízení opotřebovaných řezných nástrojů).

t_{sA111} – Čas jednotkové práce za klidu stroje

Jedná se o čas potřebný k provedení pracovních úkonů za klidu strojního zařízení (obsluha stroje, upínání, měření součástí atd.).

t_{sA121} – Čas jednotkové práce za chodu stroje

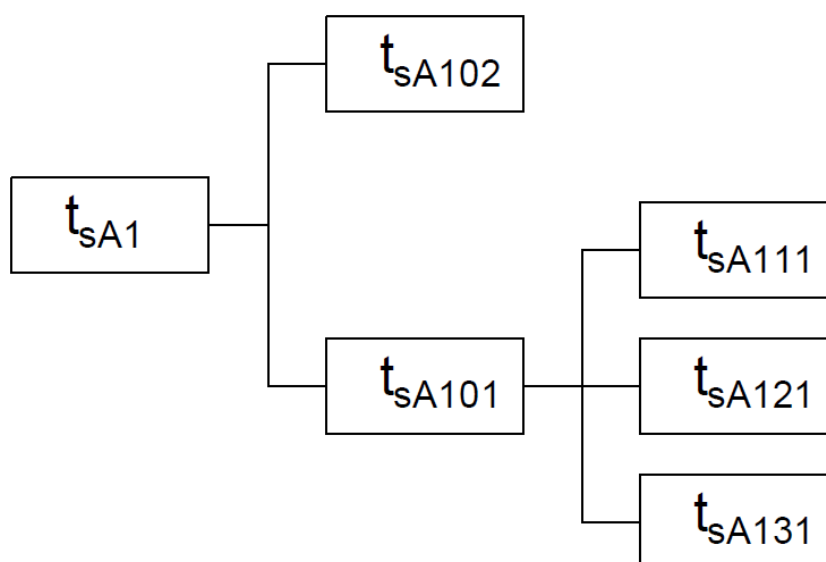
Zahrnuje časy pracovních úkonů vykonávaných za automatického chodu stroje (aktivní pozorování, dohled, kontrola předchozího kusu apod.).

 t_{sA131} – Čas jednotkové práce strojně ruční

Jedná se o čas obráběcího procesu, kdy je vlastní řezný pohyb zpravidla vykonáván obráběcím strojem a posuv do řezu je vykonáván ručně dělníkem (vrtání, srážení hran, řezání polotovaru apod.).

 t_{rA1} – Čas jednotkové práce ruční

Souhrn časů potřebných pro provedení ručních pracovních úkonů bezprostředně souvisejících s realizací operace.



Obr. 2.7 Schéma členění časů jednotkové práce strojní [30].

 t_{sB1} – Čas dávkové práce strojní

Jedná se o čas, který se vztahuje ke každé nové výrobní dávce bez ohledu na počet vyráběných jednotek v dávce (příprava a seřízení strojního zařízení, příprava pracovních pomůcek, předání hotové práce, prostudování pracovního postupu atd.).

 t_{rB1} – Čas dávkové práce ruční

Zahrnuje časy související s každou novou výrobní dávkou nezávisle na počtu výrobních jednotek v dávce (příprava pomůcek, příprava pracoviště, manipulace s materiálem při přípravě a odevzdání práce apod.).

t_c [min] – Čas směnový

Spotřeba času vztahující se k pracovní směně (příprava pracoviště na začátku směny, úklid pracoviště na konci směny, čas nutných přestávek – svačina, osobní potřeby pracovníků apod.). Pro jednu kompletní odpracovanou směnu bude počítáno se směnovým časem $t_c = 60$ min. Vzhledem k tomu, že zkoumané operace trvají pouze určitou část pracovní směny, bude počítáno s příslušným podílem směnového času odpovídajícímu době trvání dané operace. Do směnového času je z důvodu určité časové rezervy zahrnut také čas ztrátový (ztráty způsobené pracovníkem nebo ztráty způsobené poruchou). Směnový čas se do výpočtu spotřeby času promítne pomocí koeficientu přírážky směnového času k_c , který lze určit podle rovnice 2.3.

$$k_c = \frac{t_{rA1} + \frac{t_{rB1}}{i} + \frac{t_c}{i}}{t_{rA1} + \frac{t_{rB1}}{i}} \quad (2.3)$$

t_{sc} [min] – Spotřebovaný strojní čas s přírážkou času směnového

Spotřebovaný strojní čas na výrobu jednoho kusu se zohledněním směnového času pomocí koeficientu přírážky směnového času lze určit podle rovnice 2.4.

$$t_{sc} = t_s \cdot k_c \quad (2.4)$$

t_{rc} [min] – Spotřebovaný ruční čas s přírážkou času směnového

Spotřebovaný ruční čas na výrobu jednoho kusu se zohledněním směnového času pomocí koeficientu přírážky směnového času lze určit podle rovnice 2.5.

$$t_{rc} = t_r \cdot k_c \quad (2.5)$$

2.4.2 Řezání závitů na dílu 1

Spotřeba času při operaci řezání závitů na dílu 1 je zaznamenána v tab. 2.8. Z důvodu nízké velikosti výrobní dávky standartně neprobíhá během výrobního procesu výměna opotřebovaných nástrojů. Nástroje jsou kontrolovány před zahájením řezání. Z tohoto důvodu nebude uvažován čas jednotkové nepravidelné práce strojní t_{sA102} .

Tab. 2.8 Spotřeba času při operaci řezání závitů na dílu 1.

t_{sA111}	[min]	0,53	t_{sA102}	[min]	–	t_c	[min]	16,00
t_{sA121}	[min]	–	t_{sA1}	[min]	1,16	k_c	[–]	1,13
t_{sA131}	[min]	0,63	t_{sB1}	[min]	12,00	t_{sc}	[min]	1,44
t_{sA101}	[min]	1,16	t_s	[min]	1,28			

2.4.3 Výroba dílu 5

Pro výrobu dílu 5 je využito několik pracovišť. Spotřeba strojního času s přírážkou času směnového vyjádřena na jeden díl je pro operaci dělení hutního polotovaru na stroji S1 $t_{sc} = 0,12$ min. Spotřeba času při operaci soustružení na stroji S2 je zaznamenána v tab. 2.9.

Tab. 2.9 Spotřeba času při operaci soustružení dílu 5.

t_{sA111}	[min]	0,10	t_{sA102}	[min]	0,10	t_c	[min]	30,00
t_{sA121}	[min]	1,65	t_{sA1}	[min]	1,85	k_c	[–]	1,13
t_{sA131}	[min]	–	t_{sB1}	[min]	47,00	t_{sc}	[min]	2,62
t_{sA101}	[min]	1,75	t_s	[min]	2,32			

Za současného stavu výroby je po operaci soustružení obrobek přesunut do zámečnické dílny, kde probíhá odjehlení a sražení hrany pod závit. Spotřebovaný ruční čas při této operaci je zaznamenán v tab. 2.10.

Tab. 2.10 Spotřebovaný ruční čas při výrobě dílu 5.

t_{rA1}	[min]	0,25	t_r	[min]	0,29	k_c	[–]	1,14
t_{rB1}	[min]	4,00	t_c	[min]	4,00	t_{rc}	[min]	0,33

2.4.5 Svaření sestavy

Časová náročnost operace svaření sestavy je zaznamenána v tab. 2.11. Po operaci svařování svářeč provádí čištění součástí. Spotřebovaný ruční čas je uveden v tab. 2.12.

Tab. 2.11 Spotřeba času při operaci svařování sestavy.

t_{sA111}	[min]	0,83	t_{sA102}	[min]	–	t_c	[min]	48
t_{sA121}	[min]	–	t_{sA1}	[min]	3,63	k_c	[–]	1,13
t_{sA131}	[min]	2,80	t_{sB1}	[min]	20,00	t_{sc}	[min]	4,31
t_{sA101}	[min]	3,63	t_s	[min]	3,83			

Tab. 2.12 Čas potřebný k provedení operace očištění po svařování.

t_{rA1}	[min]	5,00	t_r	[min]	5,04	k_c	[–]	1,12
t_{rB1}	[min]	4,00	t_c	[min]	60,00	t_{rc}	[min]	5,64

2.4.6 Kalibrace závitů po povrchové úpravě

V tab. 2.13 je zanesena spotřeba času pro kalibraci závitů po povrchové úpravě.

Tab. 2.13 Spotřebovaný ruční čas při operaci kalibrace závitů.

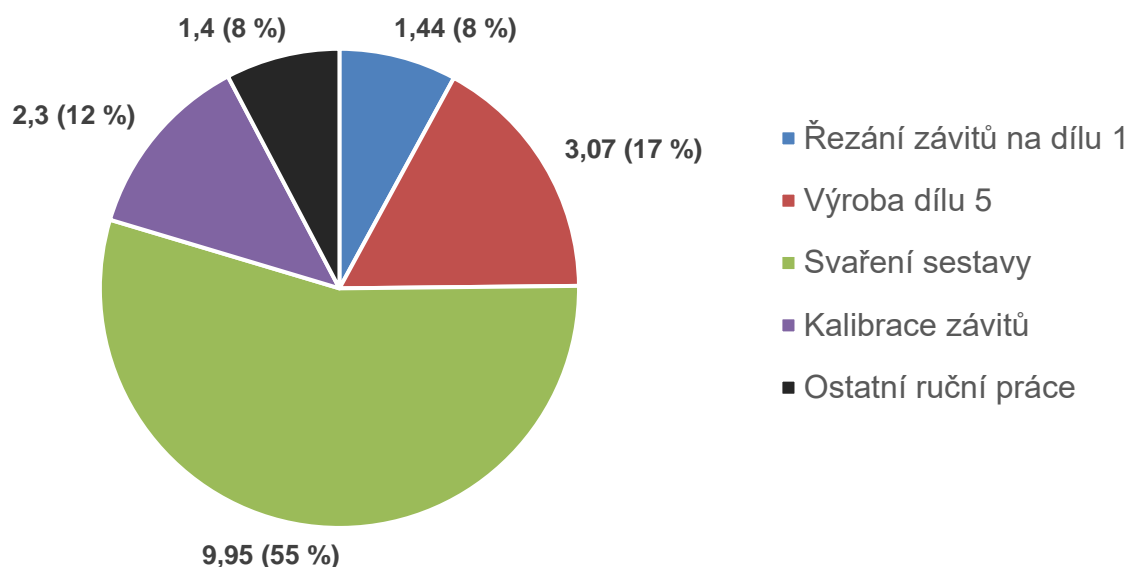
t_{rA1}	[min]	2,00	t_r	[min]	2,05	k_c	[-]	1,12
t_{rB1}	[min]	5,00	t_c	[min]	25,00	t_{rc}	[min]	2,30

2.4.7 Ostatní ruční práce

V rámci tohoto času jsou zahrnuty ostatní ruční práce, které souvisejí s výrobou dané součásti. Jedná se o čas potřebný na vstupní kontroly, čas přípravy součástí pro přepravy na kooperace a vyzvednutí zadavatelem nebo čas potřebný na manipulaci s materiálem. Spotřebovaný čas s přírůžkou času směnového pro ostatní ruční práce $t_{rc} = 1,40$ min.

2.4.8 Souhrn spotřebovaných časů

Na obr. 2.8 je zaznamenána spotřeba časů pro jednotlivé operace při výrobě dané součásti. Celkový čas potřebný pro výrobu jednoho kusu je 18,16 min. Největší podíl na celkové spotřebě času tvoří operace svaření sestavy a následné čištění, jedná se o 55 %.



Obr. 2.8 Porovnání časové náročnosti jednotlivých operací [min].

3 NÁVRH INOVATIVNÍHO VÝROBNÍHO PROCESU

Na základě rozboru stávajícího stavu výroby bude v této kapitole navržen a popsán inovativní výrobní proces. Cílem nově navrženého výrobního procesu je zefektivnit výrobu a dosáhnout tak nižších nákladů při výrobě součástí. Samotné vyčíslení nákladů a porovnání stávajícího a inovativního výrobního procesu bude provedeno v kapitole 4 Technicko-ekonomické zhodnocení.

Hlavní změnou ve výrobním procesu bude přesun frézovacích operací z kooperace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Tento krok je možný z důvodu uvolnění výrobní kapacity na obráběcím centru MCFV 1680 NT, které je součástí strojového parku společnosti. Hlavní výhodou této změny je využití volné výrobní kapacity společnosti a snížení nákladů na kooperace. Náklady spojené s obráběním daných součástí jsou v porovnání s náklady na kooperaci nižší.

Na základě popisu stávajícího výrobního procesu dílu 5 bude provedeno jeho zefektivnění. Cílem je dosáhnout nižší spotřeby času při výrobě tohoto dílu, která povede k nižším nákladům. Zefektivnění bude dosaženo úpravou řezných podmínek a opravou chyb v CNC programu. Špatně zvolené řezné podmínky a chyby v CNC programu způsobují zbytečné prodloužení výrobního cyklu. Dále bude provedena změna v organizaci práce s cílem zkrátit potřebný ruční čas pro výrobu tohoto dílu.

Operaci řezání závitů na dílu 1 lze na základě rozboru současného stavu výroby zhodnotit jako dostatečně efektivní. Případné změny výrobního procesu by neměly významný dopad na náklady. Řezání závitů je jednoduchá operace prováděna na vhodně zvoleném výrobním zařízení. Používané řezné podmínky odpovídají doporučeným řezným podmínkám pro dané nástroje.

Při procesu svařování je využíván vhodně zhotovený svařovací přípravek, který umožňuje snadné a rychlé upnutí dílů součástí. Jednotlivé části přípravku je navíc možné během svařovacího procesu odstraňovat, čímž je zachován přístup ke všem potřebným svarům. Operace čištění po svaření tvoří významnou část z celkového výrobního času. Vzhledem k hodnotě hodinové sazby za práci obsluhy svařovacího přístroje, bude v novém výrobním postupu navržena změna organizace práce pro tuto operaci. Svařené sestavy budou přesuny do zámečnické dílny, kde bude realizována operace češtění po svaření. Hodinová sazba za práci pracovníka v zámečnické dílně je v porovnání s hodinovou sazbou obsluhy svářecího přístroje nižší. Tato změna povede ke snížení nákladů a zvýšení výrobní kapacity svářecího pracoviště.

3.1 Inovativní výroba dílu 5

Pro výrobu dílu 5 je nutné zajistit tyčový polotovar o délce 1 000 mm, což je maximální možná délka, kterou lze upnout do stroje S2. Operaci dělení tyčového polotovaru, při které je prováděno dělení tyče o délce 3 000 mm na tři přířezy, by bylo možné vynechat v případě, že by byl do společnosti dodáván daný tyčový polotovar již v požadované délce. Vzhledem k tomu, že společnost PRAŽÁK CEREKVICE s.r.o. tuto možnost standartně nenabízí a daný hutní polotovar je navíc využíván při výrobě více součástí na různých strojních zařízeních, bude zachován současný stav přípravy polotovaru. Pro zhotovení výrobní dávky o velikosti 100 ks jsou nutné tři přířezy. Nespotřebovaná část třetího přířezu je po soustružení uložena do stojanu na tyčové

polotovary. Zbytky jsou posléze využity pro výrobu dalších součástí, případně při výrobě další dávky daného dílu. Pro dělení hutního polotovaru je z hlediska efektivity používán vhodný výrobní stroj s odpovídajícím pilovým pásem a řeznými podmínkami.

Na základě rozboru současného stavu výroby jsou hlavním problémem nesprávně zvolené řezné podmínky při operaci soustružení. Při tvorbě CNC programu pracovníkem společnosti nebyly zvoleny řezné podmínky odpovídající zvoleným řezným nástrojům a obráběnému materiálu, nýbrž univerzální řezné podmínky využívané daným pracovníkem pro soustružnické operace. Řezné podmínky používané za současného stavu jsou v porovnání s doporučenými řeznými podmínkami pro dané řezné nástroje a materiál obrobku výrazně nižší. Takto zvolené řezné podmínky vedou k významnému prodloužení času potřebnému k obrobení dílu. Při nízkých řezných rychlostech se navíc zvyšuje možnost adhezního opotřebení nástroje. Adhezní opotřebení je způsobeno vznikem mikrosvarů mezi materiálem obrobku a řezným nástrojem. Vznikají nárůstky, které při odtržení unášejí částice břitové destičky, což vede k vylamování břitu. Rostoucí nárůstek navíc může způsobit špatnou kvalitu obráběného povrchu [32].

Tab. 3.1 Porovnání stávajících a inovativních řezných podmínek.

Operace	Nástroj			Současné	Inovativní
Soustružení – hrubovací operace	T5	n	[min ⁻¹]	1 650	2 500
		v_c	[m·min ⁻¹]	130	200
		f	[mm]	0,20	0,30
		a_p	[mm]	2,00	3,00
Soustružení – dokončovací operace	T6	n	[min ⁻¹]	2 000	3 200
		v_c	[m·min ⁻¹]	100	160
		f	[mm]	0,20	0,25
		a_p	[mm]	2,00	1,00
Soustružení – díra Ø8,5 mm pro závit M10	T3	n	[min ⁻¹]	1 900	3 000
		v_c	[m·min ⁻¹]	50	80
		f	[mm]	0,15	0,20
Soustružení – závit M10 – 6H	T7	n	[min ⁻¹]	80	120
		v_c	[m·min ⁻¹]	2,5	4,0
		f	[mm]	1,5	1,5
Soustružení – upíchnutí	T9	n	[min ⁻¹]	900	1 500
		v_c	[m·min ⁻¹]	70	120
		f	[mm]	0,07	0,20

Pro řešení daného problému, byl pro soustružení dílu 5 navržen nový CNC program, viz příloha 3. Řezné podmínky byly zvoleny na základě doporučených řezných podmínek pro využívané řezné nástroje podle obráběného materiálu a pomocí doporučení v katalogu CoroKey: snadná volba, snadné použití [6]. Na základě praktických zkušeností obsluhy stroje byla pro tento stroj zavedena určitá omezení. Příčinou je stárí a opotřebení stroje. Při soustružení je nutné dodržet limit otáček $n = 3\,300 \text{ min}^{-1}$. Problém nastává také při řezání závitů. Stroj při vysokých otáčkách nedokáže dostatečně rychle zastavit pohyb hlavního vřetena a změnit směr otáčení. Při přepnutí na zpětný chod závitníku tak může dojít k jeho poškození. Pro řezání závitů je tak možné použít max. otáčky $n = 120 \text{ min}^{-1}$. Zmíněné problémy by bylo možné vyřešit přesunutím výroby na jiný stroj, ale z důvodu kapacitního vytížení ostatních soustruhů, které jsou součástí strojového parku společnosti, to není možné. V tab. 3.1 jsou porovnány stávající a inovativní řezné podmínky. Inovativní technologický postup výroby dílu 5 viz příloha 4.

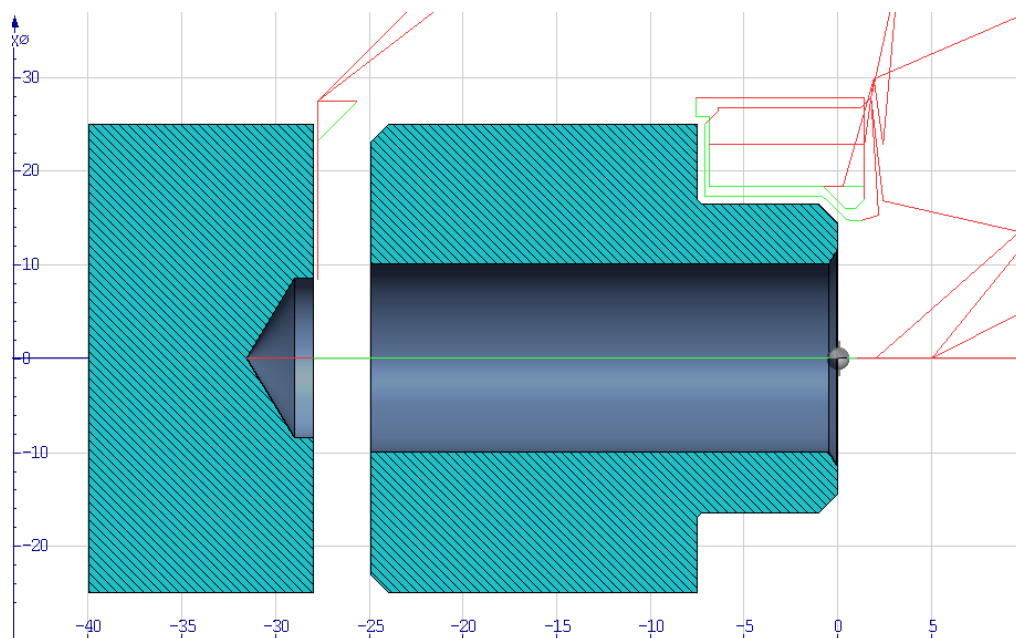
V novém CNC programu byla opravena špatně naprogramovaná operace upíchnutí. Při současném stavu výroby byl nastaven pohyb řezného nástroje až do osy obrobku. Vzhledem k tomu, že v ose součásti je závit M10, je pohyb řezného nástroje do osy součásti bezúčelný. Před upíchnutím součásti bylo nastaveno snížení rychlosti posuvu. Tento krok má význam zejména při upichování plného materiálu. V důsledku dořezávání do osy je břitová destička vystavena otěru a vysokému tahovému pnutí, což může vést k lomu. Snížení posuvu je doporučováno provést 2 mm před dosažením osy obrobku [33]. V tomto případě snížení otáček a rychlosti posuvu vede k nižšímu riziku nebezpečného oddělení upíchnuté součásti. V současném CNC programu bylo snížení otáček naprogramováno chybně. Zpomalení neplnilo požadovaný účel a vedlo k výraznému prodloužení obráběcího cyklu. Vzhledem k tomu, že povrch čela tyčového polotovaru po upíchnutí součásti je dostatečně kvalitní, není nutné provádět operaci zarovnání čela. V CNC programu byly také upraveny nepřesnosti jako např. příliš dlouhá délka náběhu při operaci sražení hrany pod závit.

Tab. 3.2 Časová náročnost současné a inovativní technologie [min].

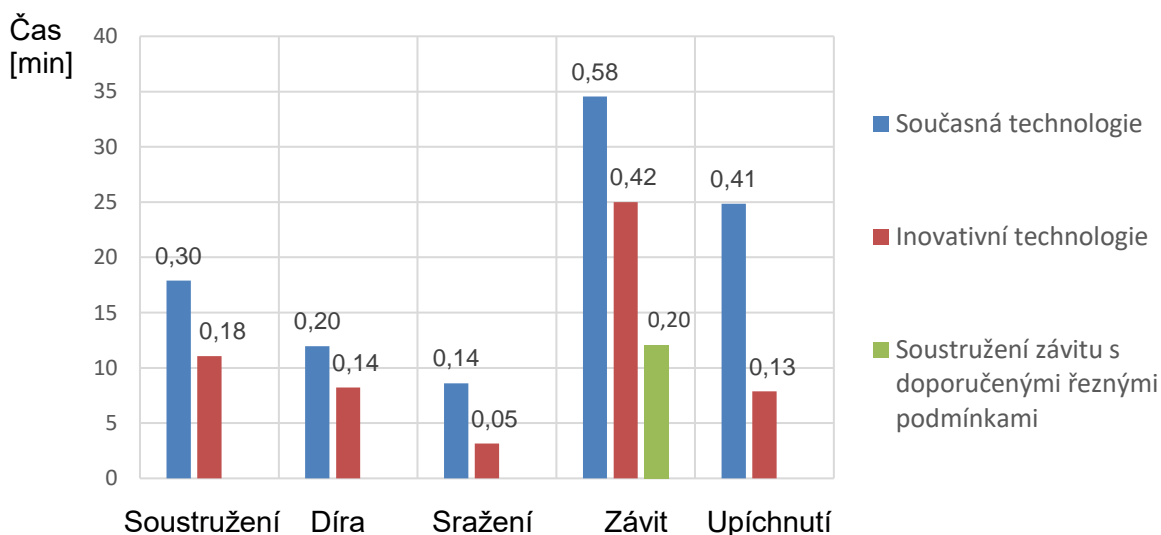
Operace	Současná	Inovativní
Soustružení hrubování/dokončování	0,30	0,18
Soustružení díry Ø8,5 mm	0,20	0,14
Soustružení sražení pod závit	0,14	0,05
Řezání závitu M10 – 6H	0,58	0,42
Soustružení upíchnutí	0,41	0,13
Celkem:	1,63	0,92

S využitím nového CNC programu byl snížen čas obráběcího cyklu o 0,71 min. V tab. 3.2 je porovnána časová náročnost jednotlivých operací při současném a inovovaném obráběcím procesu. Jednotlivé časy byly získány pomocí simulace v programu Sinu Train. Na obr. 3.1 je vidět simulace soustružení dané součásti včetně znázornění drah nástrojů. Nejvýraznější úspora času byla získána při upichování součásti a řezání závitu. V případě, kdy by volené řezné podmínky nebyly omezeny možnostmi stroje a bylo by možné použít doporučené řezné podmínky pro řezání

závitu, ($n = 380 \text{ min}^{-1}$, $v_c = 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) by bylo možné danou operaci provést za 0,20 min. Jedná se tedy o výraznou úsporu času. Z tohoto důvodu bylo doporučeno vedení společnosti zvážit opravu strojního zařízení, případně omezit výrobu součástí se závitem na tomto stroji. Grafické porovnání časů potřebných pro jednotlivé operace, včetně znázornění spotřeby času při řezání závitu s doporučenými řeznými podmínkami, viz obr. 3.2.



Obr. 3.1 Simulace soustružení v programu Sinu Train.



Obr. 3.2 Grafické znázornění časové náročnosti jednotlivých operací.

Pro účely zefektivnění výrobního procesu byla dále posuzována možnost snížení počtu řezných nástrojů. Podle výkresové dokumentace je pro soustružené plochy předepsána střední aritmetická úchylka profilu $R_a = 12,5 \mu\text{m}$. Předepsanou hodnotu by bylo možné dosáhnout využitím pouze řezného nástroje T5 používaného pro operaci hrubování [34]. Geometrie VBD nástroje určeného pro hrubovací operaci, ale není vhodná pro soustružení odlehčení 0,2 mm na $\varnothing 16,5 \text{ mm}$. Dodržení geometrické tolerance sestavy je navíc podmíněno přesným uložením dílu 5 do dílu 1. Z těchto důvodů je zachována dokončovací operace nástrojem T6 i přesto, že je vytvářen povrch vyšší jakosti, než je předepsáno ve výkresové dokumentaci.

V inovativním výrobním procesu byla dále provedena změna organizace práce. Vzhledem k tomu, že pracovník obsluhuje pouze daný stroj, je doba obráběcího cyklu dostatečná k provedení odjehlení otřepů a sražení hrany pod závit pomocí nástroje T10. Touto změnou je zrušena potřeba manipulace s materiálem do zámečnické dílny, kde byla operace prováděna. Tato změna vede ke snížené spotřebě času při výrobě dílu 5 a tedy i k nižším nákladům.

3.2 Frézovací operace

Frézovací operace budou přesunuty z kooperace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Jedná se o frézování svarových úkosů na dílech 2 a 3 a frézování sestavy. Pro jednotlivé operace bude navrhnout technologický postup výroby a vypracován CNC program včetně volby řezných nástrojů a určení vhodných řezných podmínek.

3.2.1 Obráběcí centrum MCFV 1680 NT

Frézovací operace budou prováděny na vertikálním obráběcím centru MCFV 1680 NT, viz obr. 3.3. Jedná se o vysoce produktivní stroj určený pro třískové operace, vyrobený společností TAJMAC-ZPS, a. s. Zařízení umožňuje pohyb ve třech řízených osách. Pracovní stůl, který slouží pro upnutí obrobku, vykonává pohyb v podélném směru (osa X). Stůl se pohybuje po vedení křížového suportu. Křížový suport koná příčný pohyb po vedení na základně (osa Y). Vřeteník se pohybuje ve vertikálním směru po vedení stojanu (osa Z). Jednotlivá vedení jsou tvořena lineárními vedeními s valivými ložisky. Obráběcí centrum dosahuje vysoké přesnosti a kvality obrobku i při vysokém zatížení stolu, suportu a vřeteníku nebo při přerušovaném řezu. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 5. Stroj je vybaven systémem dopravníků třísek [35].



Obr. 3.3 Obráběcí centrum MCFV 1680 NT.

3.2.2 Použité nástroje a měřidla

Pro frézovací operace budou využity řezné nástroje, které jsou dostupné a běžně používané ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Pro kontrolní měření budou použita stejná měřidla jako při stávajícím výrobním procesu. Tato měřicí zařízení jsou popsána v podkapitole 2.2.

T12 – VBD KORLOY SNMX1206ANN-MM a fréza KORLOY RM8ACM4063HR-M

Frézování svarových úkosů bude prováděno pomocí čelní frézy KORLOY RM8ACM4063HR-M, viz obr. 3.4 a) s VBD KORLOY SNMX1206ANN-MM, viz obr. 3.4 b). Jedná se o čelní frézu s úhlem nastavení 45°. Průměr frézy je 63 mm. Geometrie nástroje umožňuje snadný odvod třísek. Chladicí systém přivádí procesní kapalinu přímo na břity VBD, což vede k prodloužení trvanlivosti nástroje. Fréza má šest břitů. VBD jsou ze slinutého karbidu a mají čtvercový tvar. Jsou vybaveny lamačem třísek a jsou vhodné pro obrábění materiálů patřících do kategorie ISO P. Doporučené řezné podmínky jsou zaznamenány v tab. 3.3 [36].

Tab. 3.3 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí.

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	160 až 270
Posuv na zub	[mm]	0,10 až 0,30
Šířka záběru hlavního ostří	[mm]	0,50 až 6,00

T13 – Stopková fréza Gühring Ø20 mm

Pro frézování dílu 2 bude použita stopková fréza z monolitního slinutého karbidu o průměru 20 mm. Jedná se o nástroj bez vnitřního chlazení se čtyřmi břity.

Nástroj je vyroben společností Gühring. Fréza je zobrazena na obr. 3.4 c). Doporučené řezné podmínky viz tab. 3.4.

Tab. 3.4 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí.

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	115
Posuv na zub	[mm]	0,08

T14 – VBD WNEX 080608-JG PK19 a fréza F1551.63.N22.40.7.Z6.C

Pro čelní frézování sestavy bude použita rohová nástrčná fréza F1551, viz obr. 3.4 d) s VBD WNEX 080608-JG PK19, viz obr. 3.4 e). Fréza má šest břitů a její průměr je 63 mm. Úhel nastavení frézy je 90°. VBD jsou ze slinutého karbidu a jsou vhodné pro střední hrubování a dokončování. Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí jsou zaznamenány v tab. 3.5. Fréza i VBD jsou dodávány společností TGS nástroje-stroje-technologické služby s.r.o. [37].

Tab. 3.5 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí.

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	110 až 220
Posuv na zub	[mm]	0,10 až 0,30
Šířka záběru hlavního ostří	[mm]	0,50 až 6,00

T15 – Vrtáky ze slinutého karbidu NAVEL 5xD bez chlazení Ød1 = 6,8 a d1 = 8,5

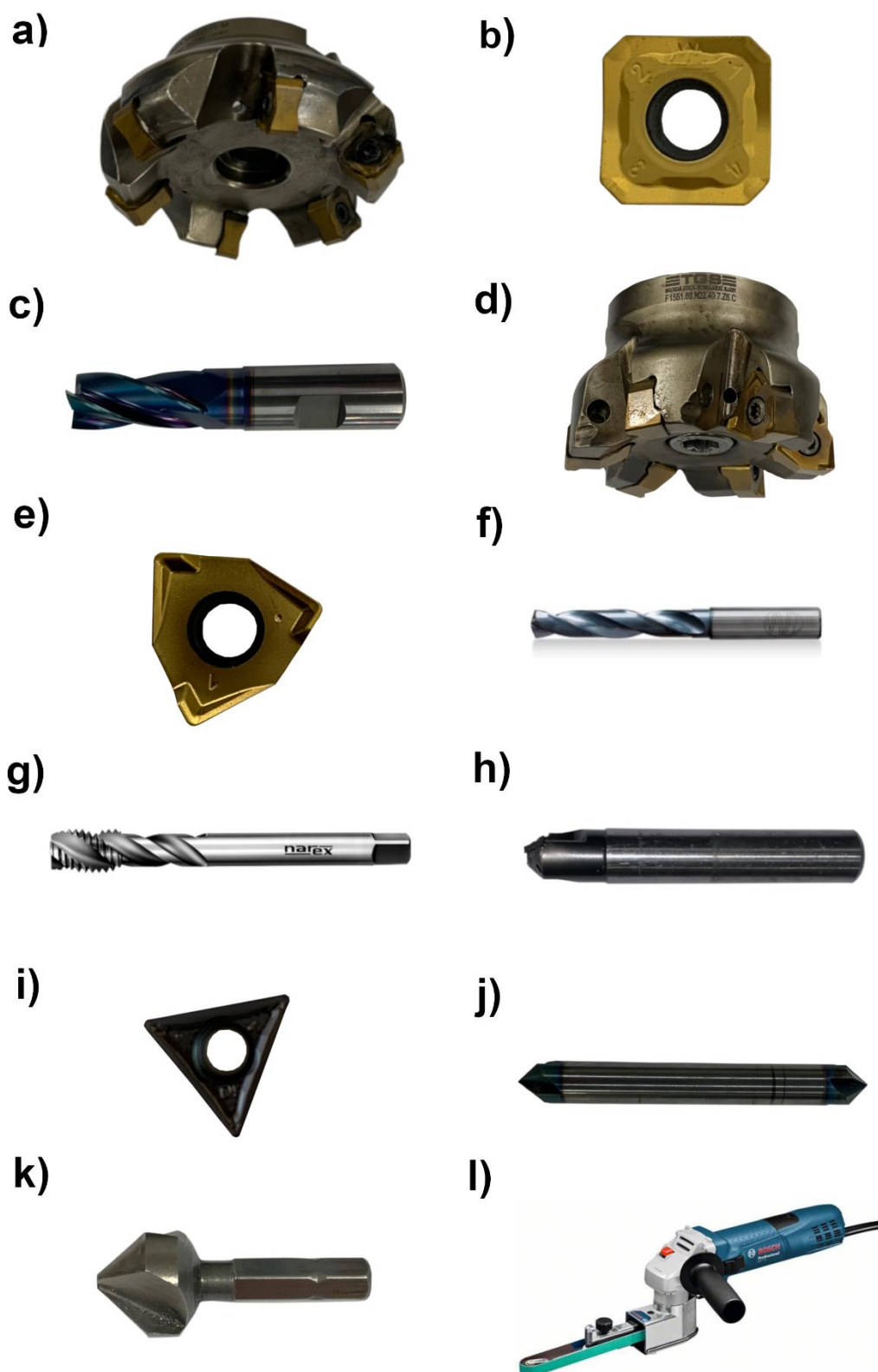
Pro vrtání děr a otvorů pro závity při obrábění sestavy budou využity vrtáky ze slinutého karbidu dodávané společností NAVEL. Díry pro závity M8 – 6H budou vrtány vrtákem s průměrem 6,8 mm a díry pro závity M10 – 6H vrtákem s průměrem 8,5 mm. Obrázek vrtáku viz obr. 3.4 f). V tab. 3.6 jsou zaznamenány doporučené řezné podmínky.

Tab. 3.6 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkolegovaných ocelí [14].

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	100 až 110
Posuv na otáčku	[mm]	0,20
Posuv na otáčku	[mm]	0,16

T16 – Závítníky Narex M10 – 6H a M8 – 6H strojní krátké závítníky se šroubovitou drážkou 35°

Závítníky budou využívány k řezání závitů M10 – 6H a M8 – 6H při obrábění sestavy. Nástroje jsou vyrobeny z výkonné řezné oceli HSSE. Díky šroubovitě drážce s úhlem 35° umožňují řezání závitů v neprůchozí díře. Přesto, že se závity řezají v průchozí díře, budou z důvodu lepších výsledků použity právě závítníky do neprůchozí díry. Nástroje jsou vhodné pro obrábění nízkolegovaných ocelí s doporučenou řeznou rychlostí 10 až 14 m·min⁻¹. Lícování závítníků je ISO2 – 6H a norma závítníků je DIN 352. Závítník Narex je zobrazen na obr. 3.4 g) [18].



Obr. 3.4 Nástroje využívané pro frézovací operace [14, 18, 38].

T17 – VBD ISCAR TCMT 110204–SM a stopková fréza 21x45° s nespecifikovaným označením

Pro frézování zkosení 45° v dírách o průměru 8,5 mm bude využita stopková fréza 21x45°, zobrazena na obr. 3.4 h), s VBD ISCAR TCMT 110204–SM viz obr. 3.4 i). Na povrchu destiček je povlak TiAlN. Fréza má dva břity. Doporučené řezné podmínky jsou zaznamenány v tab. 3.7.

Tab. 3.7 Doporučené řezné podmínky pro obrábění nízkoalokovaných ocelí [14].

Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]	120 až 200
Posuv na zub	[mm]	0,50 až 0,25
Šířka záběru hlavního ostří	[mm]	0,20 až 3,00

T18 – Kuželový záhlubník 12x45° s nespecifikovaným označením

Pro sražení hrany pod závity M10 – 6H a M8 – 6H bude využíván kuželový záhlubník 12x45° s nespecifikovaným označením. Záhlubník je zobrazen na obr. 3.4 j).

T19 – Kuželový záhlubník VOLKEL a Aku vrtačka Metabo BS 18 Li

Pro ruční sražení hrany pod závity bude využíván záhlubník z rychlořezné oceli vyrobený společností VOLKEL. K operaci je použita vhodná velikost záhlubníku z dostupné sady určené pro úpravu otvorů s průměrem 6,3 až 20,5 mm. Nástroj je upnut do Aku vrtačky Metabo BS 18 Li. Záhlubník je zobrazen na obr. 3.4 k).

T20 – Elektrický pilník BOSCH GEF 7 E

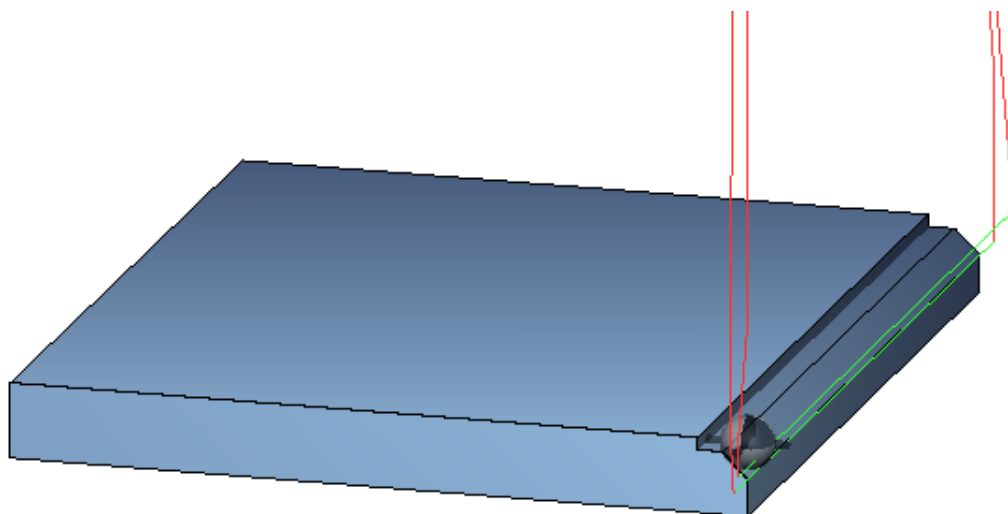
Pro odstranění otřepů po operaci frézování sestavy je využíván elektrický pilník BOSCH GEF 7 E, který je zobrazen na obr. 3.4 l).

3.2.3 Frézování dílu 2

Polotovarem pro frézování je výpalek zhotovený v kooperaci pomocí laserového řezání. Po přijetí výpalků do skladu bude provedena vstupní kontrola. Kontrolována bude četnost dávky a materiálový atest. Následně budou výpalky přesunuty do obrobny, kde proběhne jejich frézování. Technologický postup obrábění dílu 2 je zaznamenán v tab. 3.8. CNC program pro frézování dílu 2 viz příloha 6. Na obr. 3.5 je zobrazena simulace obráběcího procesu včetně drah nástrojů. Simulace byla vytvořena pomocí programu Sinu Train.

Tab. 3.8 Technologický postup frézování dílu 2.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Nástroj/měřidla
5	Manipulace	Upnutí dílu 2 k pracovnímu stolu stroje.	
10	Obrábění	Frézování. - frézovat plochu 8 x 130 mm do hloubky 2 mm ($n = 1\,820\text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,08\text{ mm}$, $a_p = 2\text{ mm}$)	T13
15	Obrábění	Frézování. - frézovat zkosení 4x45° ($n = 1\,800\text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,2\text{ mm}$)	T12
20	Manipulace	Uvolnění a vyjmutí dílu 2 ze stroje.	
25	Kontrola	Kontrola frézovaných rozměrů.	M1, M11
30	Manipulace	Manipulace s hotovými díly na další pracoviště k provedení následující operace – zavaření do sestavy.	



Obr. 3.5 Simulace obrábění dílu 2.

Na obr. 3.6 je vidět návrh upnutí dílu 2 k pracovnímu stolu obráběcího centra. K upnutí bude využit svěrák se speciálními čelistmi. Ve výrobě bude upnutí doplněno o doraz, který zajistí přesné ustavení dílu v příčném směru a umožní rychlé a snadné upnutí nového dílu.



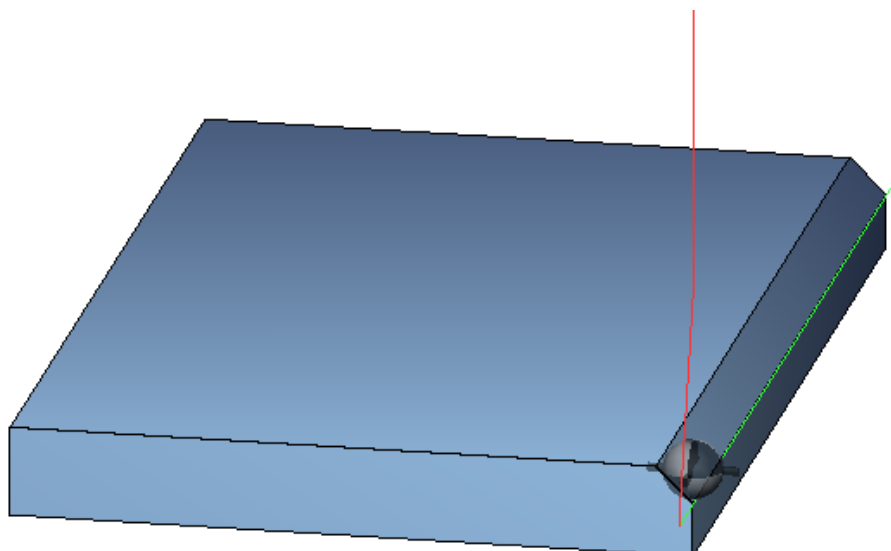
Obr. 3.6 Návrh na upnutí dílu 2 k pracovnímu stolu.

3.2.4 Frézování dílu 3

Díl 3 je výpalek zhotovený v kooperaci laserovým řezáním. Po dodání výpalků do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. bude provedena kontrola četnosti dávky a materiálového atestu. Technologický postup frézování svarového úkosu viz tab. 3.9. Simulace frézovací operace je zobrazena na obr. 3.7. CNC program pro frézování svarového úkosu je uveden v příloze 7.

3.9 Technologický postup frézování dílu 3.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Nástroj/měřidla
5	Manipulace	Upnutí dílu 3 k pracovnímu stolu stroje.	
10	Obrábění	Frézování. - frézovat zkosení 4x45° ($n = 1\,800\text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,2\text{ mm}$)	T12
15	Manipulace	Uvolnění a vyjmutí dílu 3 ze stroje.	
20	Kontrola	Kontrola frézovaných rozměrů.	M1, M11
25	Manipulace	Manipulace s hotovými díly na další pracoviště k provedení následující operace – zavaření do sestavy.	



Obr. 3.7 Simulace obrábění dílu 3.

Upnutí dílu 3 k pracovnímu stolu bude provedeno stejným způsobem jako při frézování dílu 2. Návrh upnutí dílu 3 k pracovnímu stolu viz obr. 3.8.



Obr. 3.8 Návrh na upnutí dílu 3 k pracovnímu stolu.

3.2.5 Frézování sestavy

Před operací frézování sestavy je nutné součást dostatečně očistit od nečistot vzniklých během svařování. Samotná frézovací operace bude z důvodu rozmístění frézovaných ploch provedena na dvě upnutí. Pro celou výrobní dávku bude nejprve provedeno obrábění v prvním upnutí. Následně bude obráběcí centrum připraveno na druhé upnutí a bude frézována opět celá výrobní dávka. Pro frézované plochy jsou předepsány geometrické tolerance rovnoběžnosti a kolmosti. Přehledný popis předepsaných geometrických tolerancí je uveden v podkapitole 1.2.4 Konstrukční rozbor součásti. Frézování sestavy bude provedeno podle výkresové dokumentace viz příloha 1.

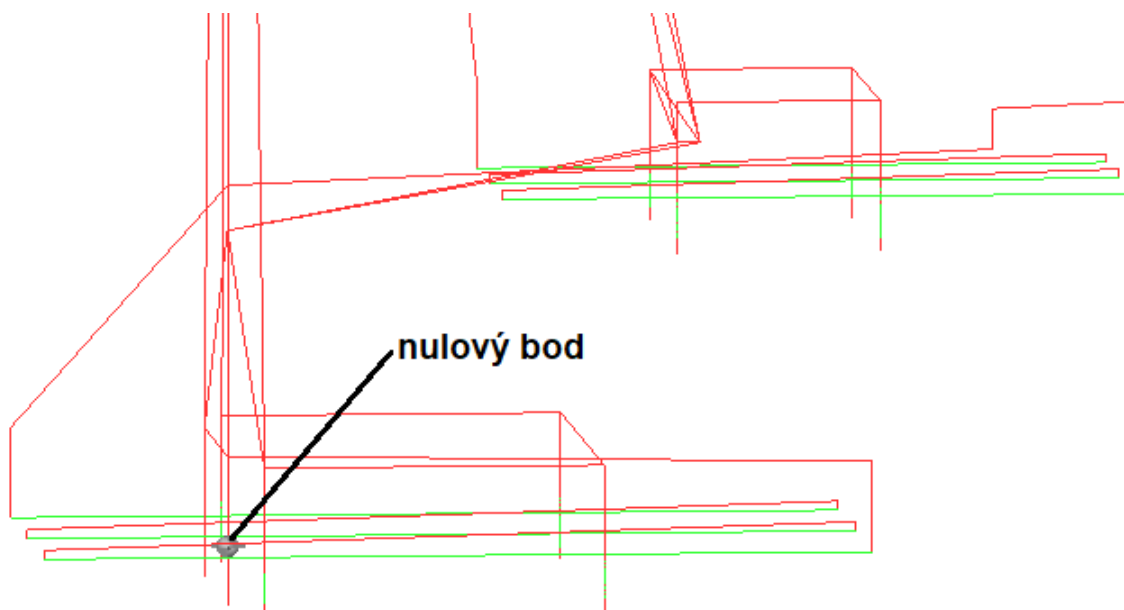
Technologický postup obrábění sestavy v prvním upnutí včetně zvolených řezných podmínek a řezných nástrojů pro jednotlivé operace je zaznamenán v tab. 3.10. Kompletní CNC program pro frézování sestavy v prvním upnutí viz příloha 8. Ukázka CNC programu je zobrazena na obr. 3.9. Konkrétně se jedná o vrtání děr Ø8,5 mm. Simulace obráběcího procesu je zobrazena na obr. 3.10. Nulový bod pro tvorbu CNC programu byl zvolen v ose díry Ø8,5 mm na neobrobeném povrchu. Poloha nulového bodu je znázorněna v simulaci na obr. 3.10. Po obrábění sestavy budou ručně odstraněny ořepy. Ručně bude také provedeno sražení hran pod závit z druhé strany součásti. Z důvodu, že obráběná součást je svařenec, dochází při prvním upnutí k částečnému předpětí. Po uvolnění součásti dojde k drobné tvarové změně. Změna tvaru není natolik významná, aby ovlivnila dodržení předepsaných tolerancí, ale v případě strojního srážení hran pod závit pomocí obráběcího centra by mohlo dojít k poškození závitů. Ruční operace budou provedeny pomocí nástrojů T19 a T20. Doba obráběcího cyklu je dostatečná pro to, aby obsluha stroje provedla kontrolu frézovaných rozměrů, sražení hran pod závit a odstranění ořepů u předchozího dílu.

```

"
= Vrtání děr
;
; vrtání děr Ø8,5
T="T15_8,5"
m6
g0 x0 y0 z600
g0 x0 y0 z20
g97 s3700 m3 m8
f740
MCALL CYCLE82(20, 0, 1, -10.5, , 0.6, 10, 1, 22, 10000, 1, 50, 5, 50)
HOLES1(0, 0, 0, 0, 60, 2, , , , 1)
mcall
g0 x0 y0 z70
;
; vrtání otvoru Ø8,5 pod závit M10
g0 x177.5 y-120 z70
g97 s3700 m3 m8
f740
MCALL CYCLE82(79, 58.5, 1, , -10.5, 0.6, 10, 1, 21, 10000, 1, 50, 5, 50)

```

Obr. 3.9 Část CNC programu pro frézování sestavy – první upnutí.



Obr. 3.10 Simulace obráběcího procesu – první upnutí.

Tab. 3.10 Technologický postup obrábění sestavy – první upnutí.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Nástroj/měřidla
5	Manipulace	Upnutí sestavy k pracovnímu stolu stroje.	
10	Obrábění	Frézování. - frézovat funkční plochu – plocha dílu 2 ($n = 800 \text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,25 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$)	T14
15	Obrábění	Frézování. - frézovat funkční plochu – plocha dílu 3 ($n = 800 \text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,25 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$)	T14
20	Obrábění	Frézování. - 4x vrtat průchozí díru $\varnothing 8,5 \text{ mm}$ pro závit M10 – 6H ($n = 3\,700 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 0,2 \text{ mm}$)	T15
25	Obrábění	Frézování. - 2x vrtat průchozí díru $\varnothing 8,5 \text{ mm}$ ($n = 3\,700 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 0,2 \text{ mm}$)	T15
30	Obrábění	Frézování. - 4x vrtat průchozí díru $\varnothing 6,8 \text{ mm}$ pro závit M8 – 6H ($n = 4\,500 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 0,16 \text{ mm}$)	T15

35	Obrábění	Frézování. - 4x řezat závit M8 – 6H ($n = 480 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 1,25 \text{ mm}$)	T16
40	Obrábění	Frézování. - 4x řezat závit M10 – 6H ($n = 380 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 1,5 \text{ mm}$)	T16
45	Obrábění	Frézování. - 2x frézovat zkosení pro díru $\varnothing 8,5 \text{ mm}$ ($n = 2\,000 \text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,2 \text{ mm}$)	T17
50	Obrábění	Frézování. - 4x srazit hranu pod závit M8 – 6H - 4x srazit hranu pod závit M10 – 6H ($n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 0,1 \text{ mm}$)	T18
55	Manipulace	Uvolnění a vyjmutí sestavy ze stroje.	
60	Zámečnická práce	Odstranit otřepy. Ručně srazit hrany pod závity z druhé strany sestavy.	T19, T20
65	Kontrola	Kontrola frézovaných rozměrů.	M1, M2, M3, M4, M6, M7, M11



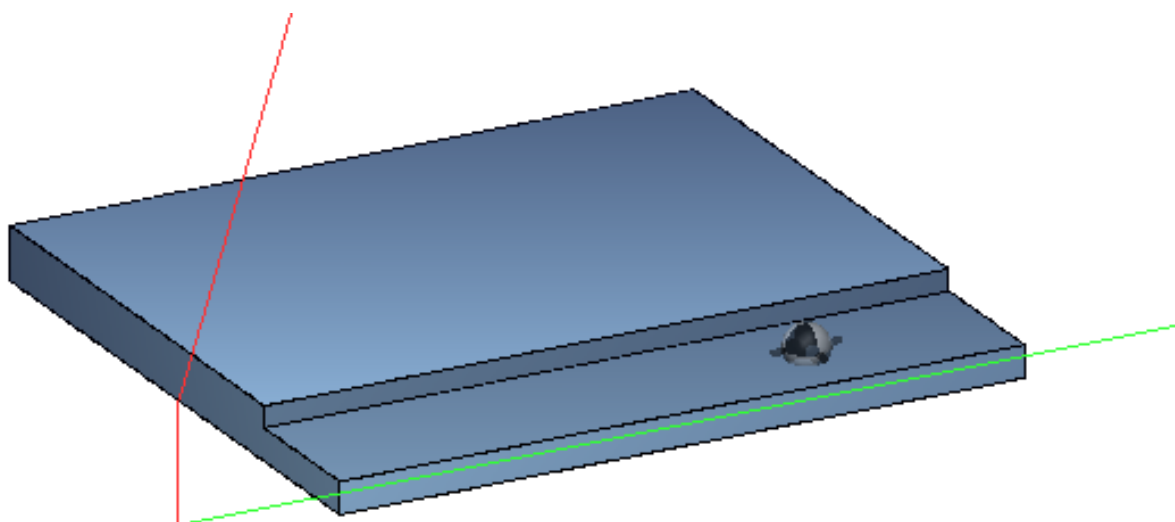
Obr. 3.11 Návrh prvního upnutí sestavy k pracovnímu stolu.

Na obr. 3.11 je vidět návrh prvního upnutí sestavy k pracovnímu stolu. Upnutí je zajištěno pomocí dvou svěráků. Horizontální pozice sestavy je ustavena přípravky připevněnými k čelistem svěráků. Dolní plochy dílů 2 a 3 na tyto přípravky dosedají. Vertikální pozice je ustavena pravým svěrákem a dorazem, který je součástí přípravku v levém svěráku.

Technologický postup frézování sestavy ve druhém upnutí včetně zvolených řezných podmínek a nástrojů viz tab. 3.11. Na obr. 3.12 je vidět simulace obráběcího procesu včetně dráhy nástroje. Nulový bod je zvolen v ose díry $\varnothing 8,5$ mm na neobrobeném povrchu. Jedná se o stejnou díru jako při prvním upnutí. CNC program pro frézování při druhém upnutí viz příloha 9. Po vyjmutí součásti z obráběcího centra je nutné odstranit ořepy a srazit hrany pod závit a díry. Délka výrobního cyklu není dostatečná pro to, aby ruční operaci prováděla obsluha stroje. Pro odstranění ořepů bude součást přesunuta do zámečnické dílny.

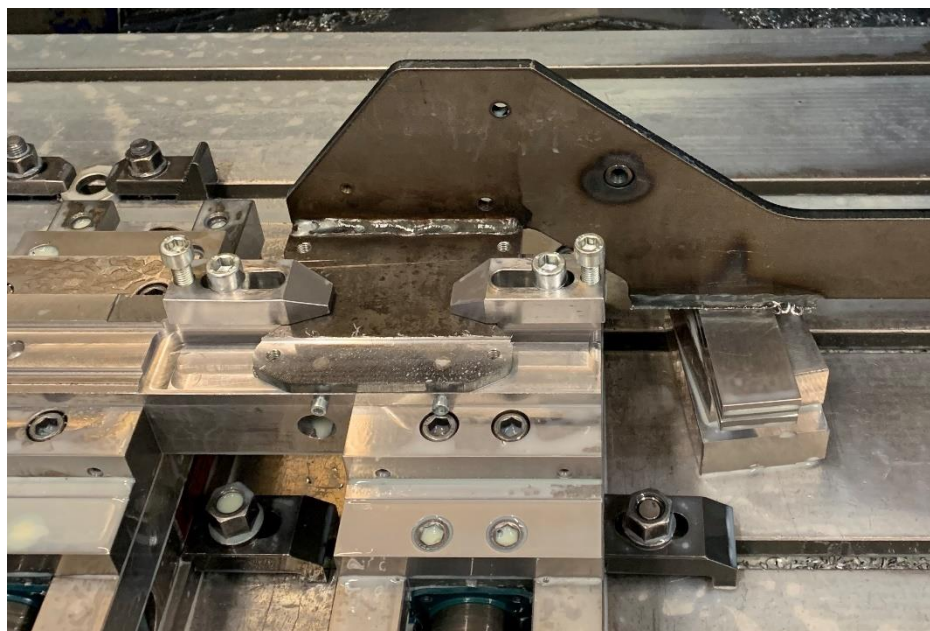
Tab. 3.11 Technologický postup obrábění sestavy – druhé upnutí.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Nástroj/měřidla
05	Manipulace	Upnutí sestavy k pracovnímu stolu stroje.	
10	Obrábění	Frézování. - frézovat funkční plochu 27 x 130 mm do hloubky 2 mm ($n = 800 \text{ min}^{-1}$, $f_z = 0,25 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$)	T14
15	Manipulace	Uvolnění a vyjmutí sestavy ze stroje.	
20	Kontrola	Kontrola frézovaných rozměrů.	M1
25	Manipulace	Přesun součástí do zámečnické dílny.	
30	Zámečnická práce	Odstranit ořepy. Ručně srazit hrany pod závit a díry na obrobené ploše.	T19, T20
35	Kontrola	Kontrola součástí.	M1, M2, M3, M4, M7



Obr. 3.12 Simulace obráběcího procesu – druhé upnutí.

Návrh druhého upnutí sestavy k pracovnímu stolu je zobrazen na obr. 3.13. K upnutí je využit speciální upínací přípravek, který je upevněn do dvou svěráků. Na přípravku jsou dva kolíky, na které je sestava nasazena dírami o $\varnothing 8,5$ mm. Sestava je tak přesně ustavena a upnutí nového dílu je rychlé a jednoduché. Součástí přípravku jsou dvě upínky, které zajišťují sestavu proti pohybu.



Obr. 3.13 Návrh druhého upnutí sestavy k pracovnímu stolu.

3.3 Rozbor časové náročnosti inovativní výrobní technologie

V této podkapitole bude stanovena časová náročnost nově zavedených a inovovaných výrobních operací. V nezměněné podobě, včetně časové náročnosti, zůstanou operace řezání závitů na dílu 1, svaření sestavy a kalibrace závitů po povrchové úpravě. Časová náročnost očištění sestavy po svaření zůstane stejná jako za současného stavu výroby, ale operace bude přesunuta do zámečnické dílny.

3.3.1 Soustružení dílu 5

Inovovaný technologický postup výroby dílu 5 je uveden v příloze 4. Časová náročnost dělení polotovaru zůstane nezměněna. Spotřeba strojního času s přírůžkou času směnového vyjádřena na jeden díl je pro operaci dělení hutního polotovaru na stroji S1 $t_{sc} = 0,12$ min. V tab. 3.12 je zaznamenána spotřeba času při inovované operaci soustružení na stroji S2. Z důvodu změny organizace práce bude také ušetřen čas potřebný pro provedení operace sražení hrany pod závit. Tuto operaci provádí obsluha stroje v průběhu výrobního cyklu následujícího dílu.

Tab. 3.12 Spotřeba času při operaci soustružení dílu 5.

t_{sA111}	[min]	0,10	t_{sA102}	[min]	0,10	t_c	[min]	20,00
t_{sA121}	[min]	0,96	t_{sA1}	[min]	1,16	k_c	[–]	1,12
t_{sA131}	[min]	–	t_{sB1}	[min]	47,00	t_{sc}	[min]	1,83
t_{sA101}	[min]	1,06	t_s	[min]	1,63			

3.3.2 Frézování dílu 2

Časová náročnost frézování dílu 2 viz tab. 3.13. Délka výrobního cyklu je dostatečná k provedení kontroly frézovaných rozměrů během výroby následujícího dílu.

Tab. 3.13 Spotřeba času při frézování dílu 2.

t_{sA111}	[min]	0,28	t_{sA102}	[min]	0,10	t_c	[min]	13,00
t_{sA121}	[min]	0,30	t_{sA1}	[min]	0,68	k_c	[–]	1,13
t_{sA131}	[min]	–	t_{sB1}	[min]	30,00	t_{sc}	[min]	1,11
t_{sA101}	[min]	0,58	t_s	[min]	0,98			

3.3.3 Frézování dílu 3

V tab. 3.14 je zaznamenána časová náročnost frézování dílu 3. Z důvodu krátké doby výrobního cyklu bude kontrola frézovaných rozměrů probíhat částečně během výrobního cyklu následujícího dílu a částečně za klidu výrobního zařízení.

Tab. 3.14 Spotřeba času při frézování dílu 3.

tsA111	[min]	0,42	tsA102	[min]	0,10	tc	[min]	13,00
tsA121	[min]	0,15	tsA1	[min]	0,67	kc	[–]	1,13
tsA131	[min]	–	tsB1	[min]	30,00	tsC	[min]	1,10
tsA101	[min]	0,57	ts	[min]	0,97			

3.3.4 Frézování sestavy

Časová náročnost frézování sestavy v prvním upnutí je zaznamenána v tab. 3.15. Odstranění otřepů, sražení hran pod závity z druhé strany součásti a případnou kontrolu frézovaných rozměrů provede obsluha obráběcího centra během obrábění následující sestavy. Spotřeba času při frézování sestavy v druhém upnutí je vidět v tab. 3.16. Spotřeba času při ruční operaci odstranění otřepů a sražení hran pod závity a díry po frézování druhého upnutí je zaznamenána v tab. 3.17. Pro ruční operaci jsou součásti přesunuty do zámečnické dílny.

Tab. 3.15 Spotřeba času při operaci frézování sestavy – první upnutí.

tsA111	[min]	0,67	tsA102	[min]	0,15	tc	[min]	45,00
tsA121	[min]	2,28	tsA1	[min]	3,10	kc	[–]	1,13
tsA131	[min]	–	tsB1	[min]	50,00	tsC	[min]	4,05
tsA101	[min]	2,95	ts	[min]	3,60			

Tab. 3.16 Spotřeba času při operaci frézování – druhé upnutí.

tsA111	[min]	0,58	tsA102	[min]	0,10	tc	[min]	15,00
tsA121	[min]	0,15	tsA1	[min]	0,83	kc	[–]	1,13
tsA131	[min]	–	tsB1	[min]	35,00	tsC	[min]	1,33
tsA101	[min]	0,73	ts	[min]	1,18			

Tab. 3.17 Spotřebovaný ruční čas při operaci odstranění otřepů sražení hrany.

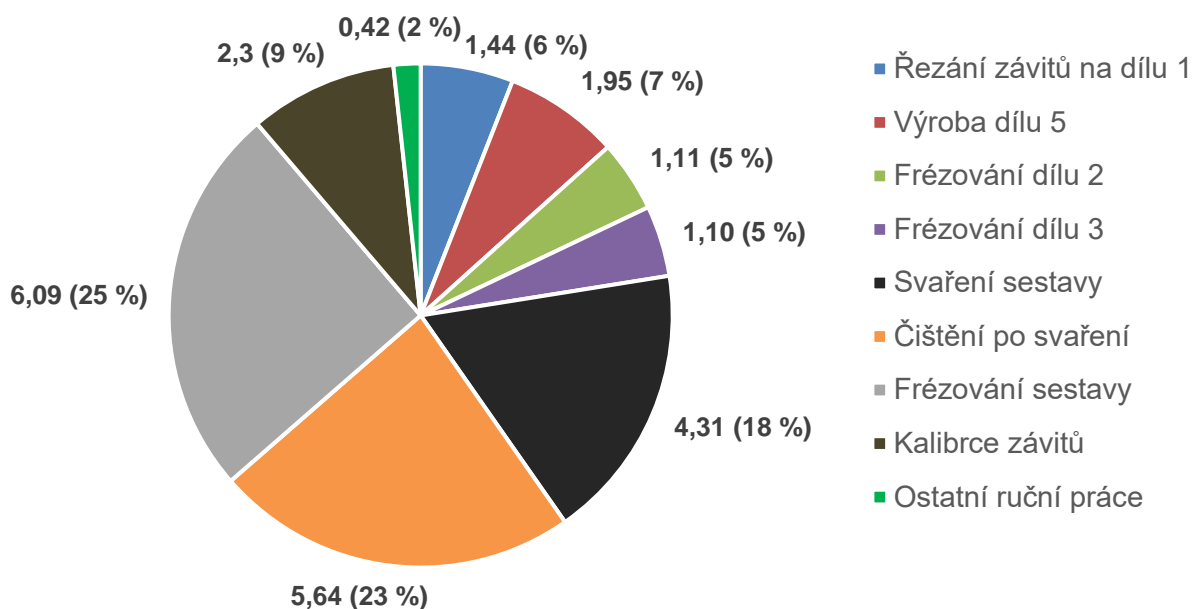
trA1	[min]	0,58	tr	[min]	0,63	kc	[–]	1,13
trB1	[min]	5,00	tc	[min]	8,00	trC	[min]	0,71

3.3.5 Ostatní ruční práce

Přesunutím frézovacích operací z kooperace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. bude snížen počet vstupních kontrol a čas potřebný k přípravě součástí pro přepravu na kooperaci. Spotřebovaný čas s přírůžkou času směnového pro ostatní ruční práce $t_{rc} = 0,42$ min.

3.3.6 Souhrn spotřebovaných časů

Celková spotřeba času pro výrobu jedné součásti při inovativním výrobním procesu je 24,36 min. Na obr. 3.14 je vidět porovnání časové náročnosti jednotlivých operací. Nejvýraznější podíl z celkového času tvoří nově zavedená technologie frézování sestavy (25 %). Další významnou část z celkové spotřeby času tvoří čištění po svaření (23 %) a svařování sestavy (18 %).



Obr. 3.14 Porovnání časové náročnosti jednotlivých operací [min].

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude provedeno zhodnocení stávajícího a inovovaného výrobního procesu s jejich následným porovnáním. Hlavním parametrem, podle kterého budou obě varianty hodnoceny jsou výrobní náklady. Na žádost společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. budou použité hodnoty zkresleny. Procentuální vyjádření úspor bude odpovídat realitě.

4.1 Zhodnocení stávajícího výrobního procesu

Výrobní náklady na jednotlivé operace prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. budou určeny pomocí rovnice 4.1. Všechny náklady budou vyjadřovány na jednu zhotovenou součást.

$$N_o = t_{sco} \cdot \frac{N_s}{60} + N_{po} \quad (4.1)$$

Kde: o [–]	– výrobní operace,
N_o [Kč·ks ⁻¹]	– výrobní náklady na danou operaci,
t_{sco} [min]	– spotřebovaný strojní (ruční) čas s přírůžkou času směnového,
N_s [Kč·h ⁻¹]	– hodinová sazba pracoviště,
N_{po} [Kč·ks ⁻¹]	– ostatní přímé náklady (např. materiál).

Hodinové sazby jednotlivých pracovišť jsou zaznamenány v tab. 4.1. Hodinová sazba pracoviště je stanovena na základě přímých fixních nákladů, přímých variabilních nákladů a příslušné části společných fixních nákladů. Mezi přímé fixní náklady patří odpisy stroje, prostorové náklady a náklady na opravy a údržbu stroje. Do variabilních nákladů spadají náklady na nástroje, mzdy pracovníků, spotřebované energie, stlačený vzduch a režijní materiál. Společné fixní náklady jsou tvořeny např. náklady na provoz budovy, mzdy administrativních pracovníků atd. Na přání společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. nebude uveden podíl jednotlivých složek nákladů na celkové hodnotě hodinové sazby pracoviště.

Tab. 4.1 Hodinové sazby pracovišť.

Pracoviště	Hodinová sazba [Kč·h ⁻¹]
Sloupová vrtačka Heltos VS 32 B	546
Gravitační pásová pila PEGAS 230 x 280 GH-LR	455
CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90	676
Svařovací přístroj Phoenix 355 Progress puls FA KGE	689
Ruční pracoviště	520

Celkové výrobní náklady budou stanoveny jako součet nákladů na výrobní operace prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. a nákladů na kooperace. V tab. 4.2 jsou zaznamenány náklady na jednotlivé kooperace. Výpočet celkových výrobních nákladů na jednu součást je uveden v tab. 4.3. Náklady na dílčí operace jsou vypočítány podle rovnice 4.1.

Tab. 4.2 Náklady na kooperace.

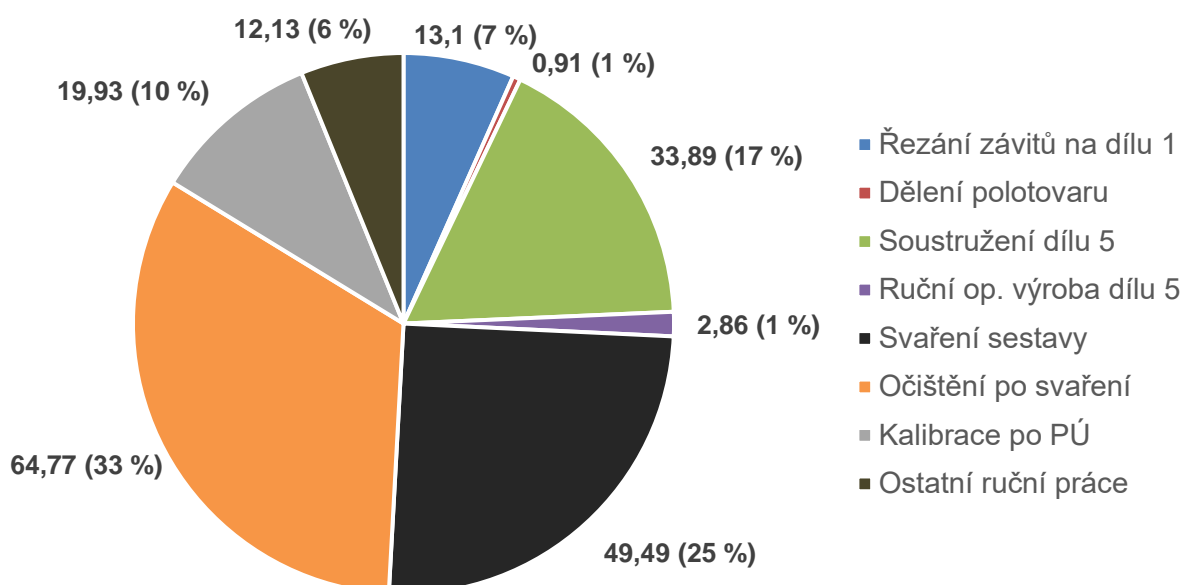
Popis kooperace	Náklady [Kč·ks ⁻¹]
Výroba dílů 1, 2, 3 a 4 – materiál + laserové řezání + frézování dílů 2 a 3	315
Frézování sestavy + vlastní doprava	411
Povrchová úprava + vlastní doprava	61
Náklady na kooperace celkem	787

Tab. 4.3 Stanovení celkových nákladů na výrobu jedné součásti.

Popis operace	Hodinová sazba pracoviště [Kč·h ⁻¹]	Spotřebovaný čas [min]	Výrobní náklady [Kč·ks ⁻¹]
Řezání závitů na dílu 1	546	1,44	13,10
Dělení polotovaru	455	0,12	0,91
Soustružení dílu 5	676	2,62	33,89
Ruční operace výroba dílu 5	520	0,33	2,86
Svaření sestavy	689	4,31	49,49
Očištění po svaření	689	5,64	64,77
Kalibrace po povrchové úpravě	520	2,30	19,93
Ostatní ruční práce	520	1,40	12,13
Celkem		18,16	197,09
Náklady na kooperace			787
Výrobní náklady celkem			984,09

Z tab. 4.3 vyplývá, že za současného stavu výroby jsou celkové náklady tvořeny z 80 % náklady na kooperace a z 20 % náklady spojenými s výrobou ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Náklady na jednotlivé operace prováděné ve vlastní výrobě jsou

přehledně znázorněny v grafické závislosti na obr. 4.1. Z grafické závislosti vyplývá, že nejvýraznější část z nákladů na vlastní výrobu je tvořena operacemi čištění po svaření (33 %), svaření sestavy (25 %) a soustružení dílu 5 (17 %).



Obr. 4.1 Grafická závislost porovnání výrobních nákladů na jednotlivé operace prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. [Kč·ks⁻¹].

4.2 Zhodnocení inovativního výrobního procesu

Výrobní náklady na inovovaný výrobní proces budou stanoveny stejným způsobem jako pro stávající výrobní proces v podkapitole 4.1. Z důvodu zvýšení řezných podmínek při operaci soustružení dílu 5 dojde ke změně hodinové sazby pro CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90. Zvýšením řezných podmínek, zejména řezné rychlosti, dochází k vyššímu opotřebení a snížení životnosti řezných nástrojů. Z tohoto důvodu náklady na řezné nástroje vzrostou. Vzhledem k tomu, že navržené řezné podmínky ještě nebyly odzkoušeny ve výrobě, bude zvýšení nákladů na nástroje odhadnuto. Náklady na nástroje budou zvýšeny o 10 %. Hodinové sazby pro univerzální hrotový soustruh a obráběcí centrum MCFV 1680 NT jsou uvedeny v tab. 4.4. Hodinové sazby ostatních pracovišť zůstávají stejné jako v tab. 4.1.

Tab. 4.4 Hodinové sazby pracovišť při inovovaném výrobním procesu.

Pracoviště	Hodinová sazba [Kč·h ⁻¹]
CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90	682
Obráběcí centrum MCFV 1680 NT	1 131

V tab. 4.5 jsou zaznamenány náklady na operace prováděné v kooperaci. Stanovení výrobních nákladů na jednotlivé operace a následné určení celkových nákladů je provedeno v tab. 4.6. Do výpočtu jsou zahrnuty také náklady na upínací přípravky

pro frézovací operace, které činí 1 500 Kč. Pro vyjádření těchto nákladů na 1 ks je 1 500 Kč rozloženo mezi 700 ks, což je předpokládaný roční objem produkce.

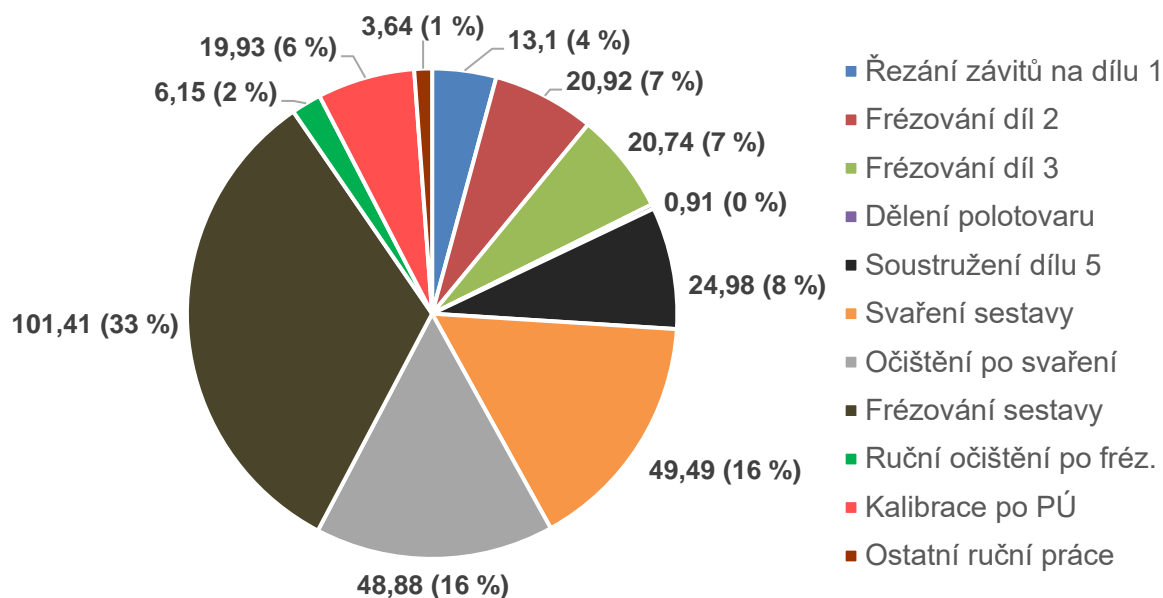
Tab. 4.5 Náklady na kooperace při inovovaném výrobním procesu.

Popis operace	Náklady [Kč·ks ⁻¹]
Výroba dílů 1, 2, 3 a 4 – materiál + laserové řezání	252
Povrchová úprava + vlastní doprava	61
Náklady na kooperace celkem	313

Tab. 4.6 Stanovení celkových výrobních nákladů na výrobu jedné součásti při inovovaném výrobním procesu.

Popis operace	Hodinová sazba pracoviště [Kč·h ⁻¹]	Spotřebovaný čas [min]	Výrobní náklady [Kč·ks ⁻¹]
Řezání závitů na dílu 1	546	1,44	13,10
Frézování dílu 2	1 131	1,11	20,92
Frézování dílu 3	1 131	1,10	20,74
Dělení polotovaru	455	0,12	0,91
Soustružení dílu 5	682	1,83	24,98
Svaření sestavy	689	4,31	49,49
Očištění po svaření	520	5,64	48,88
Frézování sestavy první upnutí	1 131	4,05	76,34
Frézování sestavy druhé upnutí	1 131	1,33	25,07
Ruční očištění po frézování	520	0,71	6,15
Kalibrace po povrchové úpravě	520	2,30	19,93
Ostatní ruční práce	520	0,42	3,64
Náklady na upínací přípravky	–	–	2,14
Celkem		24,36	312,29
Náklady na kooperace			313
Výrobní náklady celkem			625,29

Z tab. 4.6 vyplývá, že při inovovaném výrobním procesu jsou celkové náklady tvořeny z 50 % náklady na výrobu ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. a z 50 % náklady na kooperace. Jednotlivé náklady na vlastní výrobní operace jsou znázorněny v grafické závislosti na obr. 4.2. Z grafické závislosti vyplývá, že nejvýraznější část nákladů na vlastní výrobu je tvořena náklady na frézování sestavy (33 %), očištění po svaření (16 %) a svaření sestavy (16 %).

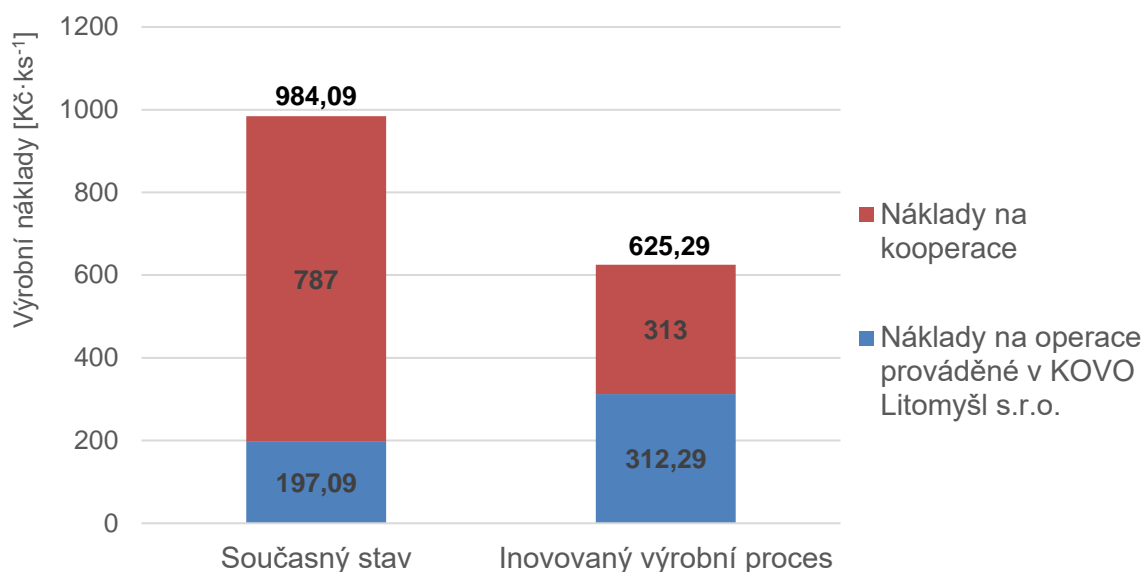


Obr. 4.2 Grafická závislost porovnání výrobních nákladů na jednotlivé operace inovovaného výrobního procesu prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. [Kč·ks⁻¹].

4.3 Porovnání stávajícího a inovativního výrobního procesu

V předchozích podkapitolách byly vyčísleny výrobní náklady pro stávající a inovativní výrobní proces. V této podkapitole bude provedeno porovnání obou variant a budou zhodnoceny přínosy inovovaného výrobního procesu.

Inovovaný výrobní proces vede k výraznému snížení nákladů na kooperace. Náklady na kooperace jsou sníženy o 60,2 %. Příčinou je přesun veškerých frézovacích operací z kooperace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Ze stejného důvodu dojde k navýšení nákladů na vlastní výrobní operace o 36,9 %. Přehledné srovnání jednotlivých složek výrobních nákladů na stávající a inovovaný výrobní proces viz grafická závislost na obr. 4.3. Přesun frézovacích operací do vlastní výroby také umožňuje využití volné výrobní kapacity obráběcího centra MCFV 1680 NT. V tab. 4.7 je uvedena časová náročnost frézovacích operací pro předpokládaný roční objem výroby. Při objemu výroby 700 ks bude obráběcí centrum obsazeno výrobou této součásti 5 313 min (88,55 h).



Obr. 4.3 Grafická závislost porovnání jednotlivých složek nákladů pro obě varianty.

Tab. 4.7 Časová náročnost frézovacích operací pro předpokládaný roční objem výroby 700 ks.

Operace	Roční spotřebovaný strojní čas	
	[min]	[h]
Frézování dílu 2	777	12,95
Frézování dílu 3	770	12,83
Frézování sestavy	3 766	62,77
Celkem	5 313	88,55

V tab. 4.8 jsou porovnány náklady na jednotlivé operace při současném a inovovaném výrobním procesu. Náklady na operace, které nejsou uvedeny v tab. jsou pro obě varianty stejné. Hodnoty nákladů jsou na přání společnosti zkráceny. Procentuální vyjádření úspor však odpovídá realitě.

Díky přesunu frézovacích operací z kooperace jsou sníženy náklady na frézování dílů 2 a 3. Konkrétně se jedná o snížení 37,9 % u dílu 2 a 31,3 % u dílu 3. Nicméně frézování těchto dílů je poměrně jednoduchá operace a zvolené obráběcí centrum MCFV 1680 NT, které umožňuje vykonávat mnohem komplexnější operace, nemusí být nejvhodnější variantou. Strojový park společnosti ale nedisponuje jiným strojem, na kterém by bylo možné operaci realizovat. V případě, že bude nutné uvolnit výrobní kapacitu obráběcího centra, mohou být tyto frézovací operace přesunuty zpět do kooperace. Náklady na kooperaci jsou vzhledem k nákladům na vlastní výrobu přijatelné.

Snížení nákladů na operaci soustružení dílu 5 je dosaženo úpravou řezných podmínek a opravou chyb v CNC programu. Spotřeba času je při inovované operaci soustružení snížena o 0,79 min. V případě, kdy by nebylo nutné dodržet omezení způsobená opotřebením stroje by bylo možné dosáhnout ještě výraznějšího snížení

výrobního času, a tedy i výrobních nákladů. Další úspory je dosaženo změnou organizace práce při ručním sražení hrany pod závit. Vzhledem k charakteristice soustruženého dílu a vyráběné součásti, nejsou úspory získané inovací této operace nějak významné vzhledem k celkovým nákladům. Zjištěné chyby a nesrovnalosti ale mohou způsobit daleko větší ztráty při soustružení složitějších nebo rozměrově větších součástí. Z tohoto důvodu byly zjištěné informace předány vedení společnosti.

Náklady na očištění sestavy po svařování tvoří významnou část z celkových nákladů. Důvodem je zejména vysoká časová náročnost operace. V praxi se doba potřebná na očištění pro různé součásti velmi liší. Závisí na úrovni znečištění. Z důvodu určité rezervy je počítáno s časově náročnější variantou. Přesunem této operace do zámečnické dílny budou sníženy náklady o 24,5 %. Důvodem je nižší hodinová sazba za práci v porovnání se svařovacím pracovištěm. Obsluha svařovacího stroje se navíc může věnovat svařování dalších součástí. Při předpokládaném ročním objemu produkce 700 ks se jedná o 3 948 min (65,80 h), které mohou být navíc využity pro svařování.

Výrazná část celkových nákladů je tvořena náklady na operace související s frézováním sestavy. Za současného stavu výroby se jedná o 41,7 % z celkových nákladů na výrobu součástí. Při inovativním výrobním procesu jsou tyto náklady sníženy o 73,3 %. Jedná se tak o nejvýznamnější úsporu dosaženou pomocí inovovaného výrobního procesu. Náklady na kooperaci jsou pro tuto operaci neúměrně vysoké vzhledem k nákladům na vlastní výrobu. Vedení společnosti bylo doporučeno přesunout operaci frézování sestavy z kooperace do vlastní výroby.

Tab. 4.8 Přehled nákladů na jednotlivé operace, včetně úspor získaných inovovaným výrobním procesem.

Operace	Současný stav výroby [Kč·ks ⁻¹]	Inovovaný výrobní proces [Kč·ks ⁻¹]	Úspora [Kč·ks ⁻¹]	Úspora [%]
Frézování dílu 2	33,7	20,92	12,78	37,9
Frézování dílu 3	30,2	20,74	9,46	31,3
Soustružení dílu 5	33,89	24,98	8,91	26,3
Ruční operace výroba dílu 5	2,86	0	2,86	100
Očištění po svaření	64,77	48,88	15,89	24,5
Frézování sestavy + očištění po svaření + náklady na upínací přípravky	411	109,7	301,3	73,3
Ostatní ruční práce	12,13	3,64	8,49	70,0

Při využití inovovaného výrobního procesu dojde ke snížení celkových výrobních nákladů o 36,5 %. V tab. 4.9 jsou porovnány celkové výrobní náklady na současný a inovovaný výrobní proces. Z tab. vyplývá, že při předpokládaném ročním objemu výroby 700 ks bude pomocí inovovaného výrobního procesu dosažena úspora 251 160 Kč.

Tab. 4.9 Porovnání celkových výrobních nákladů pro obě varianty.

	Náklady na vlastní operace [Kč·ks ⁻¹]	Náklady na kooperace [Kč·ks ⁻¹]	Náklady na 1 ks [Kč]	Náklady na 100 ks [Kč]	Náklady na 700 ks [Kč]
Současný stav výroby	197,09	787	984,09	98 409	688 863
Inovovaný výrobní proces	313	312,29	625,29	62 529	437 703
Úspora			358,8	35 880	251 160

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem na inovaci výrobního procesu pro součást zhotovovanou ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Cílem této diplomové práce bylo popsat a zhodnotit současný stav výroby a následně navrhnout změnu výrobního procesu, která povede k zefektivnění.

V první kapitole je stručně představena společnost KOVO Litomyšl s.r.o. a je proveden detailní rozbor součásti. Bylo zjištěno, že materiál součásti je zaručeně svařitelný a dobře obrobitelný. Pro obráběcí operace je tedy možné využívat běžné řezné nástroje a doporučené řezné podmínky. Z konstrukčního rozboru součásti vyplývá, že obrábění funkčních ploch bude provedeno až po svaření.

Při analýze stávajícího stavu výroby byly charakterizovány využívané strojní zařízení, nástroje a měřidla. Byl popsán technologický postup výroby pro jednotlivé operace prováděné ve společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. včetně použitých řezných podmínek. V závěru kapitoly byl proveden rozbor časové náročnosti výrobních operací.

Na základě rozboru současného stavu výroby byla navržena inovace výrobního procesu s cílem snížit celkové výrobní náklady. Bylo provedeno zefektivnění procesu výroby dílu 5 včetně technologického postupu, volby vhodných řezných podmínek a vytvoření CNC programu. Provedené změny vedly ke snížení výrobního času o 0,71 min. Za účelem využití volné výrobní kapacity obráběcího centra MCFV 1680 NT a snížení nákladů na kooperace, byly přesunuty frézovací operace do společnosti KOVO Litomyšl s.r.o. Pro nově zavedené frézovací operace byly zhotoveny technologické postupy výroby, vytvořeny CNC programy a zvoleny vhodné řezné podmínky. Byl také proveden návrh na upnutí pro jednotlivé frézovací operace. Dalších úspor bylo dosaženo změnou organizace práce u operací výroba dílu 5 a očištění po svaření. V závěru kapitoly byl proveden rozbor časové náročnosti nově navrženého výrobního procesu.

Ze závěrečného technicko-ekonomického zhodnocení vyplývají tyto přínosy inovovaného výrobního procesu (náklady jsou vyjadřovány na 1 ks):

- náklady na kooperace byly sníženy o 60,2 % (z 787 Kč na 313 Kč),
- byla využita volná výrobní kapacita obráběcího centra MCFV 1680 NT – roční spotřebovaný strojní čas při výrobě této součásti činí 5 313 min (88,55 h),
- náklady na výrobu dílu 5 byly sníženy o 32 % (z 36,75 Kč na 24,98 Kč),
- přesunem frézování dílů 2 a 3 z kooperace byly sníženy náklady o 22,24 Kč,
- přesun operace frézování sestavy vedl ke snížení nákladů na tuto operaci o 73,3 % (z 411 Kč na 109,7 Kč),
- celkové výrobní náklady byly sníženy o 36,5 % (z 984,09 Kč na 625,29 Kč),
- úspory výrobních nákladů pro roční objem produkce činí 251 160 Kč.

Návrh přinášející zefektivnění výroby součásti byl představen vedení společnosti a bude provedena jeho realizace. Závěrem lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOVO Litomyšl s.r.o. [online]. 2020 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: <https://www.kovolitomysl.cz/>
- [2] ČSN 11523 – konstrukční ocel. CZ FERRO – STEEL s.r.o [online]. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11523.pdf>
- [3] Nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná ke svařování. *Techportal* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, c1997-2021 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLt43w9y1W_Xp75N8MGgz73w
- [4] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. [online]. Brno, 2003 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-1cast.pdf. Studijní opory. FSI VUT v Brně, ÚST, Obor technologie obrábění.
- [5] PETŘÍK, Jan. Obrobitelnost a vlastnosti obráběných materiálů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015, 2015(7), 42 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrobitelnost-a-vlastnosti-obrabeny-ch-materialu.html>
- [6] *CoroKey: snadná volba, snadné použití*. 5. vyd. Praha: Sandvik Coromant, 1999, 183 s. : il.
- [7] Pásové pily na kov. *Pegas – Gonda* [online]. Slavkov u Brna, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/product/10/230x280-gh-lr-gravitacni-pasova-pila-na-kov-pegas-230x280-gh-lr>
- [8] *Příručka pro obráběcí stroj COLCHESTER Tornado A90*. West Yorkshire: Colchester.
- [9] Sloupová vrtačka Heltos VS 32 B. *Boukal* [online]. Litvínov, 2020 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/sloupova-vrtacka-heltos-vs-32-b/7310/produkt>
- [10] *Návod k obsluze svařovacího přístroje Phoenix 335 Progress Puls FA KGE*. Mündersbach: EWM HIGHTEC WELDING, 2010.
- [11] Phoenix 355 Progress puls. *EWM AG* [online]. 2018 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: https://www.ewm-sales.com/cs/Svareci_pristroje_MIG_MAG/Phoenix_puls/Modularni_konstrukce/Phoenix_355_Progress_puls_HP_MM_TKM--090-005403-00502.html
- [12] Strojní závitník s přímou drážkou a lamačem. *Narex Žďánice* [online]. Žďánice, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/strojni-zavitniky/1500/>

-
- [13] Automatická závitovací hlava MK2, reverzovací, Warco. *Primadílna.cz* [online]. České Budějovice: Eshop-rychle, 2020 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Automaticka-zavitovaci-hlava-MK2-reverzovaci-Warco-d6793.htm#detail-anchor-description>
- [14] Tvrdokovové vrtáky. *Navel – Nástroje a nářadí Velešín* [online]. Velešín, c1993-2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://navel.cz/obrabeci-nastroje/tvrdokovove-vrtaky/>
- [15] Pilous ARG 200. *FIPAS – pily na kov* [online]. Rokycany [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.fipas.cz/pilous-arg-200-pilovy-pas-2490x20x09-m42-812z>
- [16] WNMG080404-MM DH820. *Moustik* [online]. Česká Třebová, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://moustik.cz/produkt/wnmg080408-mm-ya820/>
- [17] VCMT 160404-SM: Insert. *ISCAR LTD.* [online]. 2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5504877&fnum=869&mapp=IS&lang=WZ>
- [18] Strojní krátký závitník se šroubovitou drážkou 35°. *Narex Žďánice* [online]. Žďánice, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/strojni-zavitniky/0600/>
- [19] GY2M0300F030N-GM: Turning Inserts. *MITSUBISHI MATERIALS* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: http://www.mitsubishicarbide.net/mhg/enuk/turning_inserts/no_srs/20049276
- [20] Kartáč drátěný ruční. In: *DoVa – Vaník* [online]. Zeleneč [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <http://www.dovavanik.cz/kartace-rucni.html?vyhledavani=&vsude=&list=&xmclid=2159365#detail>
- [21] Digital ABS AOS Caliper. *Mitutoyo.cz* [online]. Teplice [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05a/Digital%20ABS%20AOS%20Caliper/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/500-181-30/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05a/Digital%20ABS%20AOS%20Caliper/$catalogue/mitutoyoData/PR/500-181-30/index.xhtml)
- [22] Lineární výškoměr Linear Height LH. *Mitutoyo.cz* [online]. Teplice [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05.031/Line%C3%A1rn%C3%AD%20v%C3%BD%C5%A1kom%C4%9Br%20Linear%20Height%20LH-600%20E%20-%20EG/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/518-351D-21/index.xhtml;jsessionid=107EEAD6E26A32BD3645497975BE54DC](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05.031/Line%C3%A1rn%C3%AD%20v%C3%BD%C5%A1kom%C4%9Br%20Linear%20Height%20LH-600%20E%20-%20EG/$catalogue/mitutoyoData/PR/518-351D-21/index.xhtml;jsessionid=107EEAD6E26A32BD3645497975BE54DC)
- [23] Digital ABS AOS Depth Gauge. *Mitutoyo.cz* [online]. Teplice [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.02/Digital%20ABS%20AOS%20Depth%20Gauge/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/571-201-30/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.02/Digital%20ABS%20AOS%20Depth%20Gauge/$catalogue/mitutoyoData/PR/571-201-30/index.xhtml)
- [24] Kalibry závitové. *Unimera spol. s.r.o* [online]. Ostrava: Web-evolution, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <http://www.unimera.cz/cz/katalog/kalibry-merky-a-sablony/kalibry-zavitove/>
-

-
- [25] Vzorkovnice drsnosti Rugotest 1. *Kalibrační laboratoř Zindler* [online]. Zlín [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.klz.inshop.cz/vzorkovnice-drsnosti-rugotest-1>
- [26] Měrka svarů univerzální. *Weldpoint* [online]. Zakřany [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.weldpoint.eu/shop/171-merka-svaru-univerzalni/>
- [27] Měřítka ocelové neohebné. In: *AMAT nářadí – želeřství* [online]. Jablonec nad Nisou, c2008-2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.naradi-amat.com/produkt/meritko-ocelove-neohebne-1000mm-s-25mm-tl-1mm-106213/?produktId=2855>
- [28] Úhelník zámečnický příložený. In: *BO – IMPORT* [online]. Šternberk, 2015 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: https://www.bo-import.cz/meridla/uhelniky/uhelniky-prilozne/uhelnik-zamecnicky-prilozny-csn255124-250-160mm-4022-721.html?gclid=Cj0KCQiA-OeBBhDiARIsADyBcE5KqsgrmU410w1OaMB6kctyUeu0p9M2G6rDsFrqCMW-WUB7l86aoaAaAs_xEALw_wcB
- [29] *Technický list – Tloušťkoměr Elcometer 456* [online]. Ostrava: Gamin s.r.o. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: https://www.tloustkomer.cz/fileadmin/user_upload/Elcometer_456_04.pdf
- [30] ZEMČÍK, Oskar. *TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění* [online]. Brno: VUT v Brně, UST [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
- [31] OSIČKA, Karel. *Třídění spotřeby času ve strojírenské výrobě [přednáška]*. Brno: VUT v Brně, UST, 13. 10. 2020.
- [32] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology - Opotřebení se nevyhneme!. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, s.r.o., 2012, 2012(6) [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme>
- [33] Upichování: Užitečné rady pro upichování. *SANDVIK Coromant* [online]. c2000-2012 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/parting-grooving/pages/parting-off.aspx>
- [34] Jak při soustružení dosáhnout dobré kvality obrobených součástí. *SANDVIK Coromant* [online]. c2000-2012 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-achieve-good-component-quality-in-turning.aspx>
- [35] *Technická dokumentace pro vertikální obráběcí centrum ZPS MCFV 1680 NT*. Malenovice: TAJMAC-ZPS, a. s.
- [36] RM8ACM4063HR-M KORLOY. *M.K.T. AS* [online]. Tallinn, 2018 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.mkt.ee/en/>
-

- [37] Katalogový list Rohové frézy nástrčné F1551. *TGS nástroje-stroje-technologické služby s.r.o.* [online]. Mýto [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: http://www.tgs.cz/content/fck/files/Katalogovy_list_F1551.pdf
- [38] Elektrický pilník BOSCH GEF 7 E 06018A8000. In: *PROFI Nářadí: Autorizovaný prodejce Bosch* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.boschcentrum.com/bosch-gef-7-e-professional-06018a8000>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený obráběcí stroj)
HB	Tvrdost podle Brinella
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	Šířka záběru hlavního ostří
f	[mm]	Posun na otáčku
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
i_o	[–]	Index kinetické obrobitelnosti
n	[min ⁻¹]	Otáčky
N_o	[Kč·ks ⁻¹]	Výrobní náklady na danou operaci
N_{po}	[Kč·ks ⁻¹]	Ostatní přímé náklady
N_s	[Kč·h ⁻¹]	Hodinová sazba pracoviště
o	[–]	Výrobní operace
R_a	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
T	[min]	Trvanlivost
t_c	[min]	Čas směnový
t_r	[min]	Spotřebovaný ruční čas na výrobu jednoho kusu
t_{rA1}	[min]	Čas jednotkové práce ruční
t_{rB1}	[min]	Čas dávkové práce ruční
t_{rC}	[min]	Spotřebovaný ruční čas s přírážkou času směnového
t_s	[min]	Spotřebovaný strojní čas na výrobu jednoho kusu
t_{sA1}	[min]	Čas jednotkové práce strojní
t_{sA101}	[min]	Čas jednotkové pravidelné práce strojní
t_{sA102}	[min]	Čas jednotkové nepravidelné práce strojní
t_{sA111}	[min]	Čas jednotkové práce za klidu stroje
t_{sA121}	[min]	Čas jednotkové práce za chodu stroje
t_{sA131}	[min]	Čas jednotkové práce strojně ruční
t_{sB1}	[min]	Čas dávkové práce strojní
t_{sC}	[min]	Spotřebovaný strojní čas s přírážkou času směnového
t_{sCo}	[min]	Spotřebovaný strojní čas s přírážkou času směnového
V_{cT}	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost při určité trvanlivosti
$V_{cT \text{ etalonu}}$	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost při určité trvanlivosti pro etalonový materiál

SEZNAM PŘÍLOH

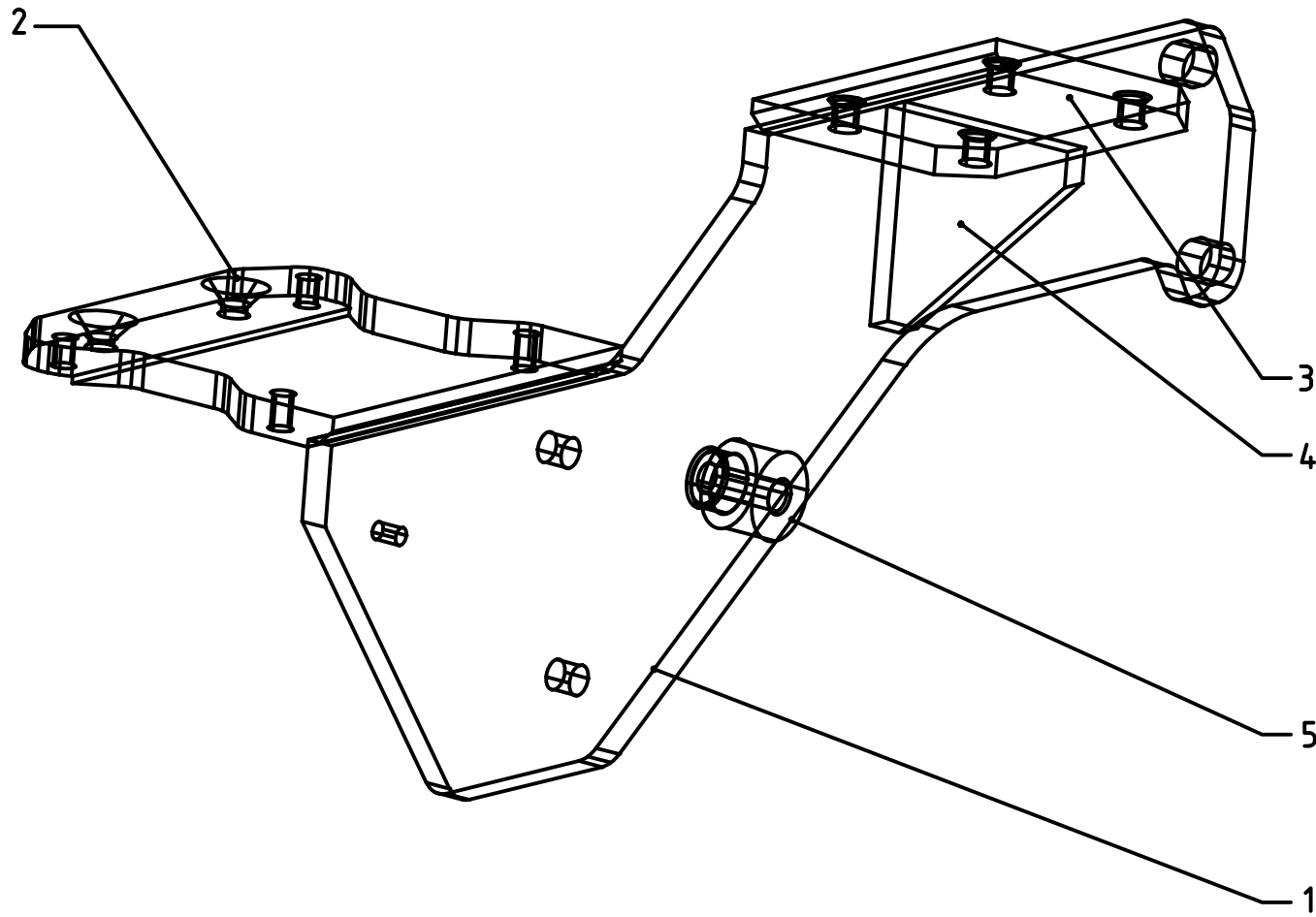
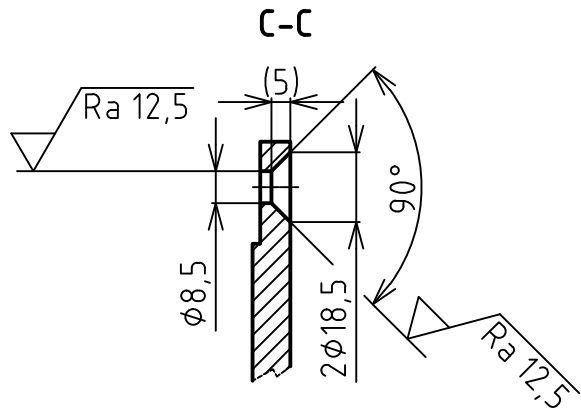
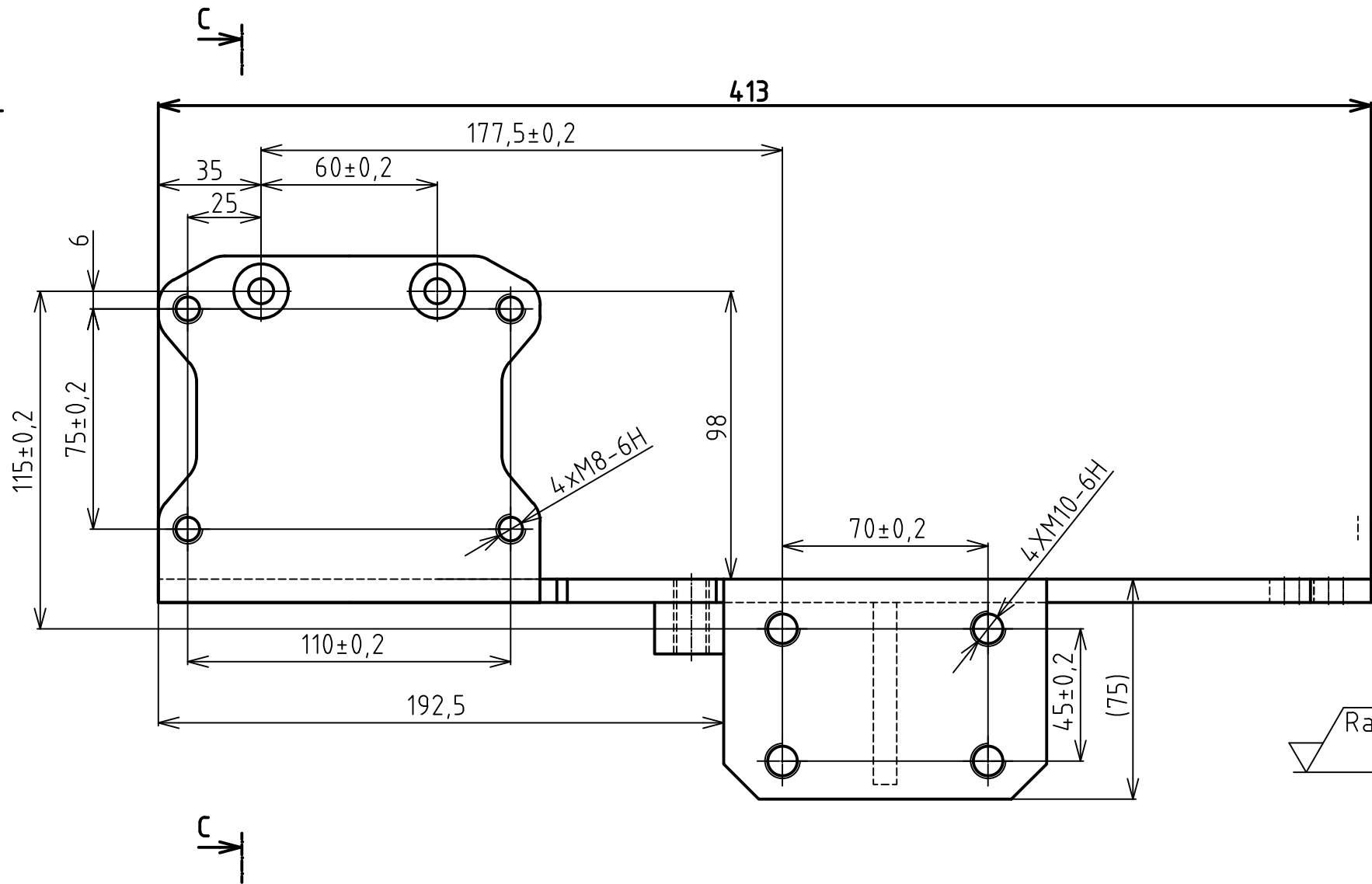
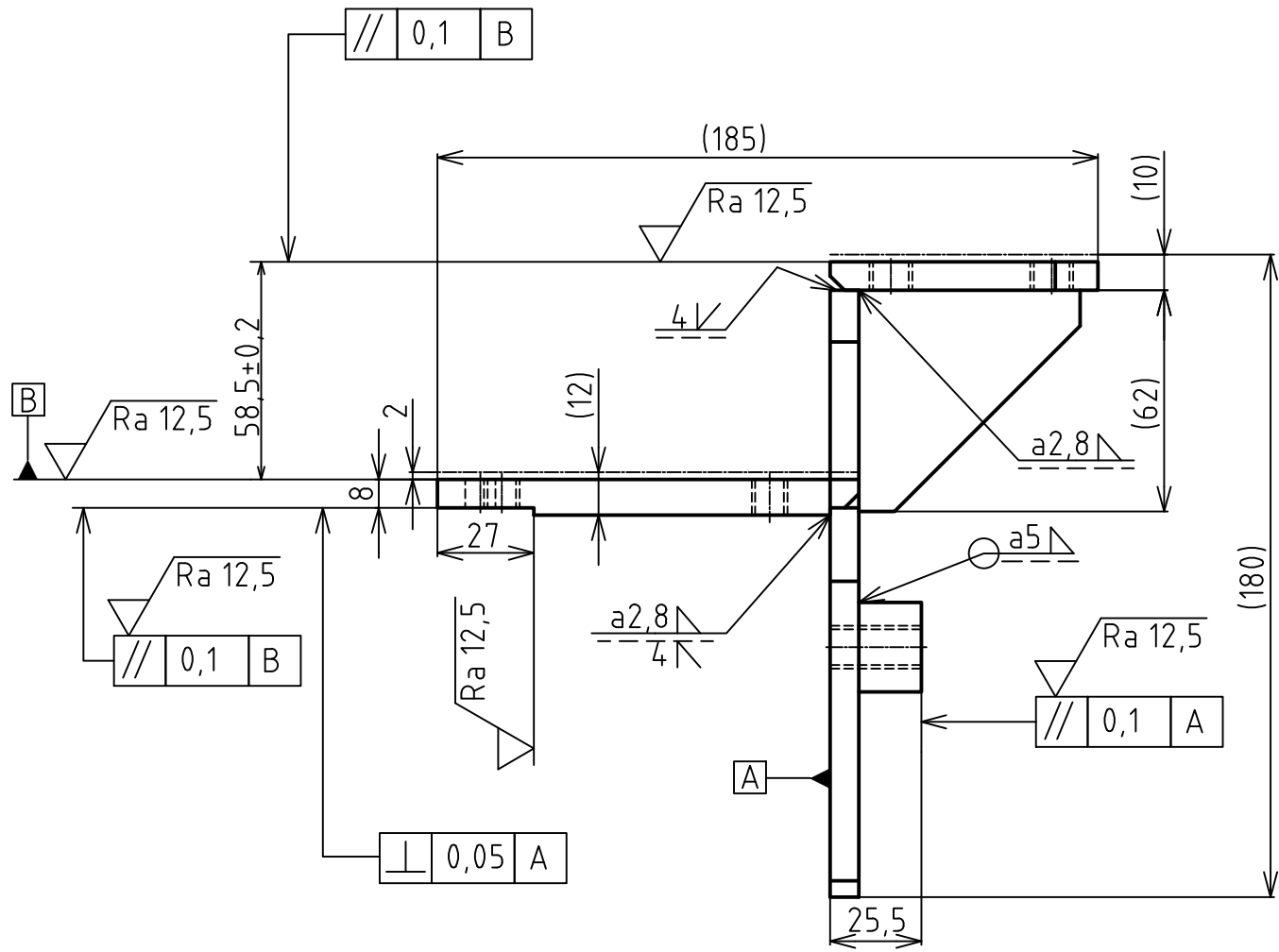
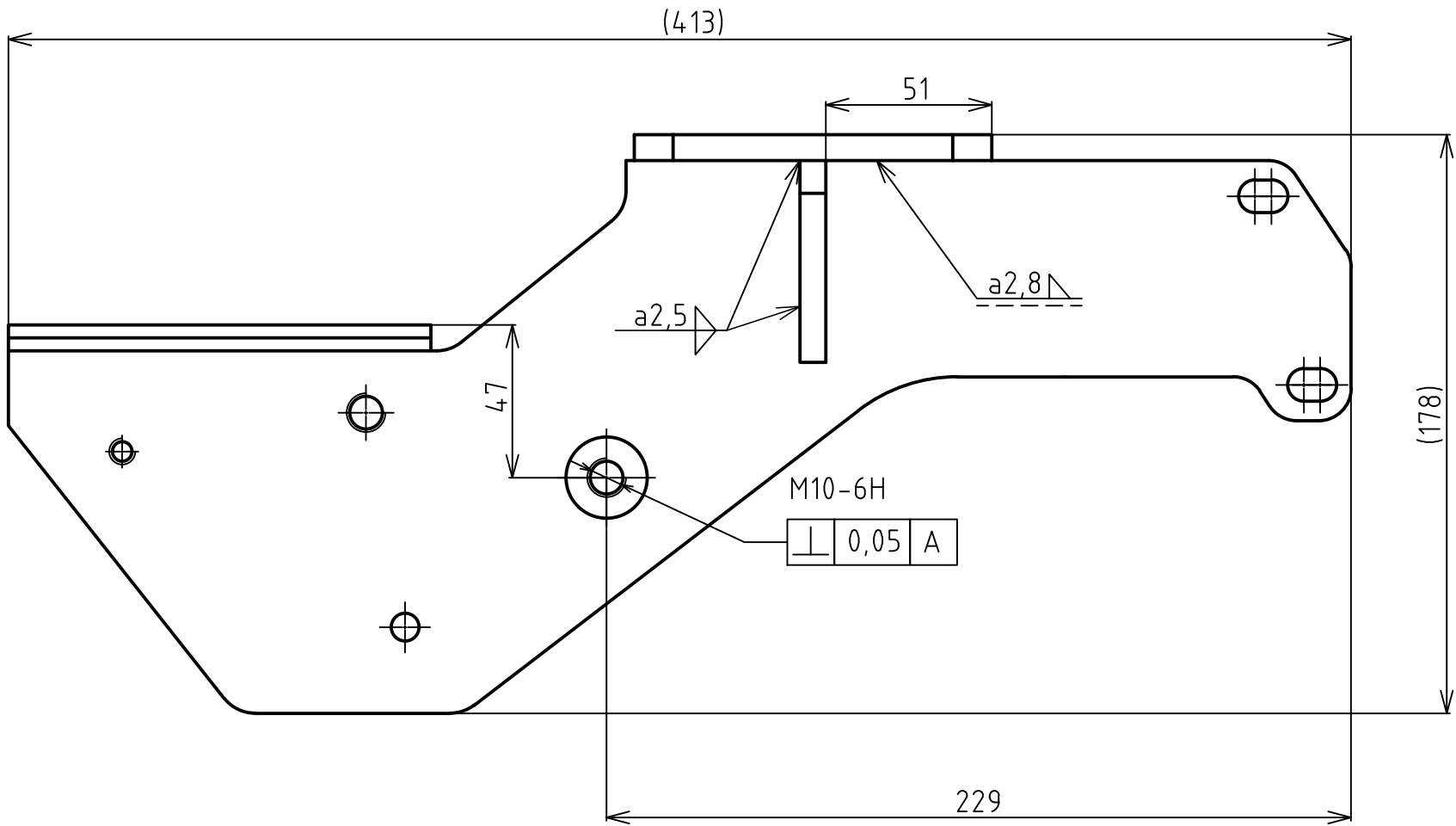
Příloha 1	Výkresy sestavy a dílů
Příloha 2	Technické parametry CNC univerzálního hrotového soustruhu Tornado A90
Příloha 3	Inovovaný CNC program soustružení dílu 5
Příloha 4	Inovovaný technologický postup výroby dílu 5
Příloha 5	Technické parametry vertikálního obráběcího centra MCFV 1680 NT
Příloha 6	CNC program frézování dílu 2
Příloha 7	CNC program frézování dílu 3
Příloha 8	CNC program frézování sestavy – první upnutí
Příloha 9	CNC program frézování sestavy – druhé upnutí

PŘÍLOHA 1

Příloha obsahuje:

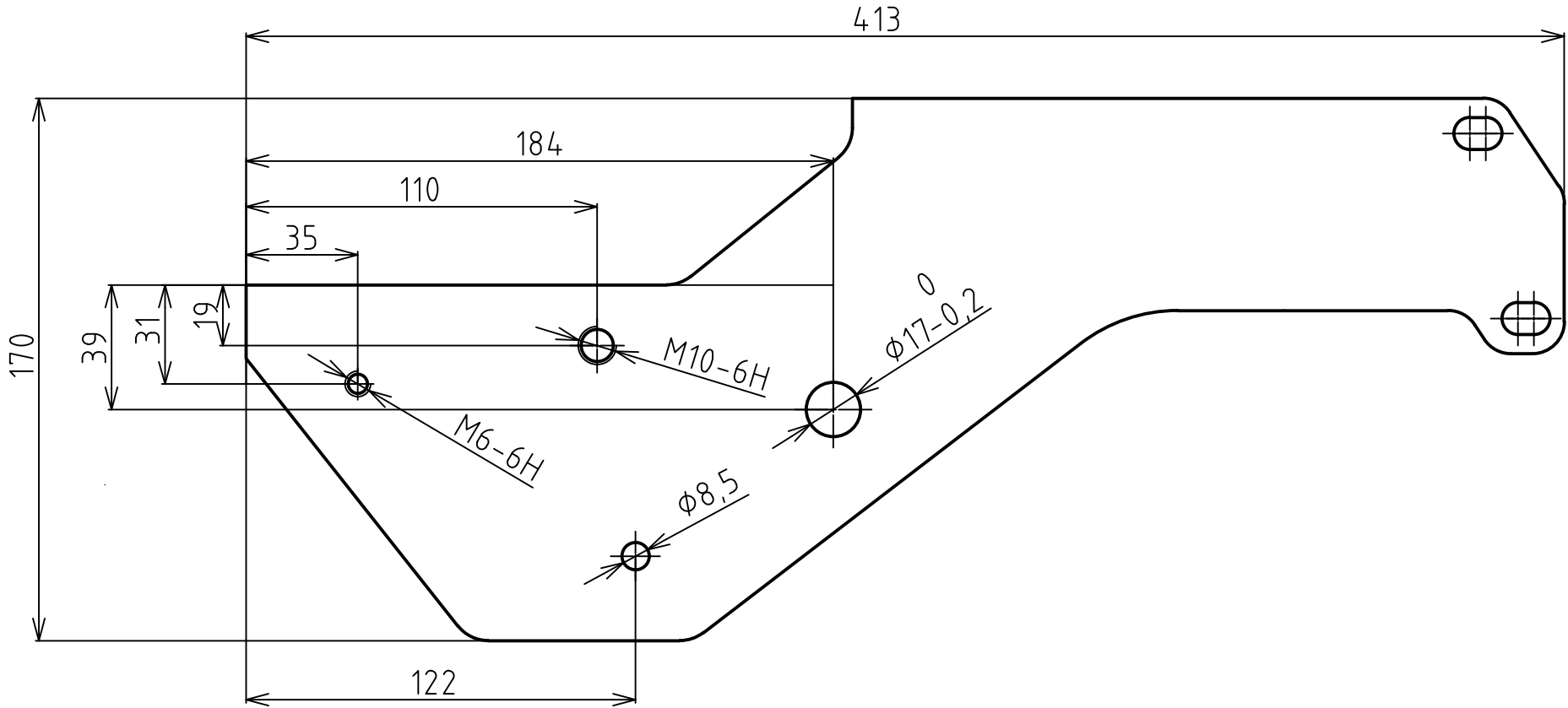
- výkres sestavy (193214 – 1/6)
- výkres dílu 1 (193214 – 2/6)
- výkres dílu 2 (193214 – 3/6)
- výkres dílu 3 (193214 – 4/6)
- výkres dílu 4 (193214 – 5/6)
- výkres dílu 5 (193214 – 6/6).

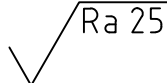
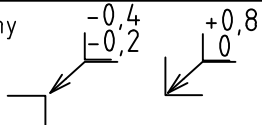

Čís.	Název	Materiál
	Výkres	
1	DÍL 1	11 523.1
	193214 - 2/6	1
2	DÍL 2	11 523.1
	193214 - 3/6	1
3	DÍL 3	11 523.1
	193214 - 4/6	1
4	DÍL 4	11 523.1
	193214 - 5/6	1
5	DÍL 5	11 523.0
	193214 - 6/6	1



1. PRO SVÁŘENÍ PLATÍ EN ISO 5871-C
2. POVRCHOVÁ ÚPRAVA PODLE PODNIKOVÉ NORMY ZADAVATELE

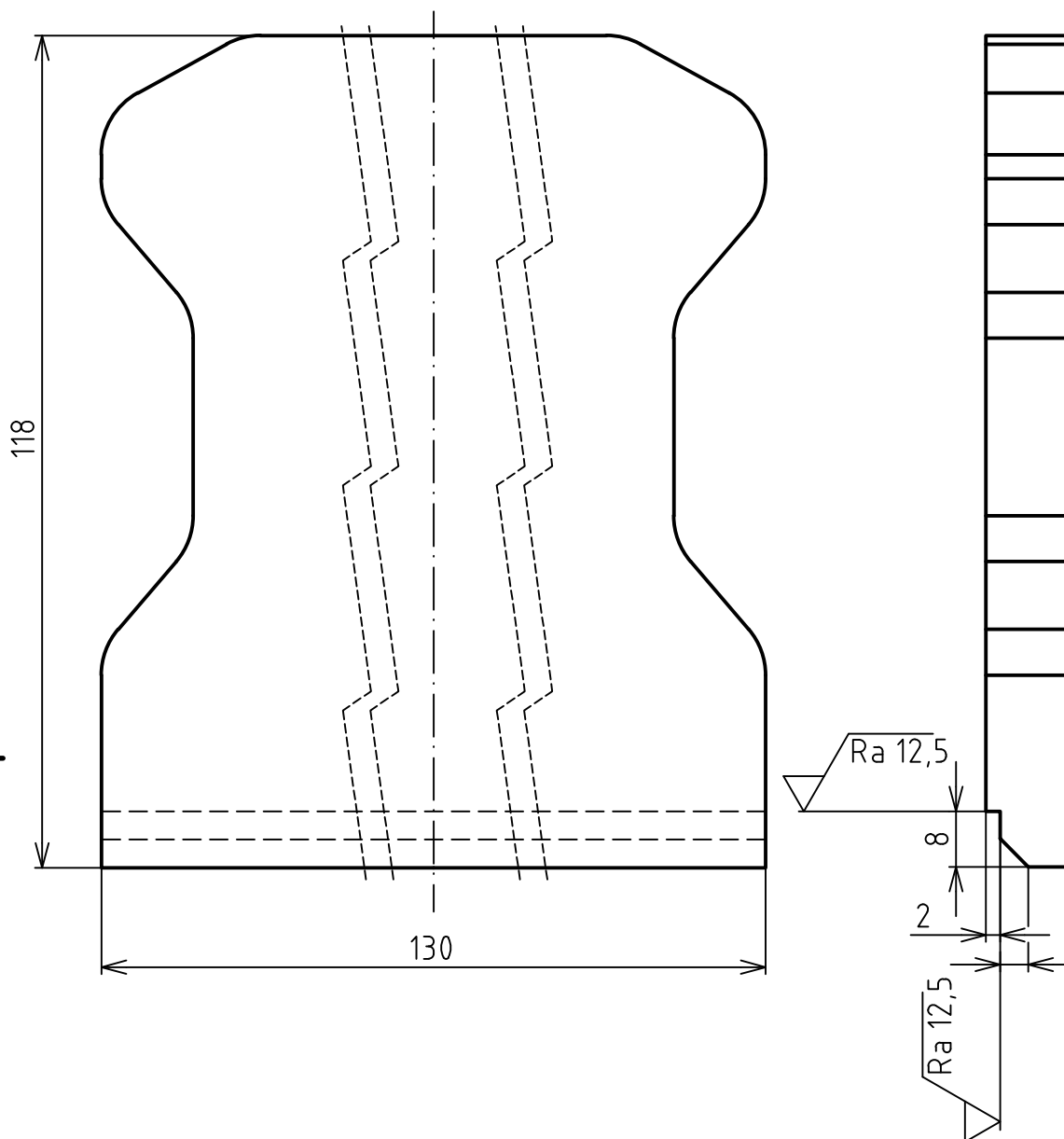
Drsnost povrchu (✓)		Hrany $\begin{matrix} -0.4 \\ -0.2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} +0.8 \\ 0 \end{matrix}$		Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768-mK
Materiál		Polotovary		Hmotnost 3,68 kg	Chráněno podle ISO 16016
Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY		Kreslil VILÉM NONN		Schválil	
Datum vydání 21.04.2021		Číslo dokumentu 193214 - 1/6		List /	



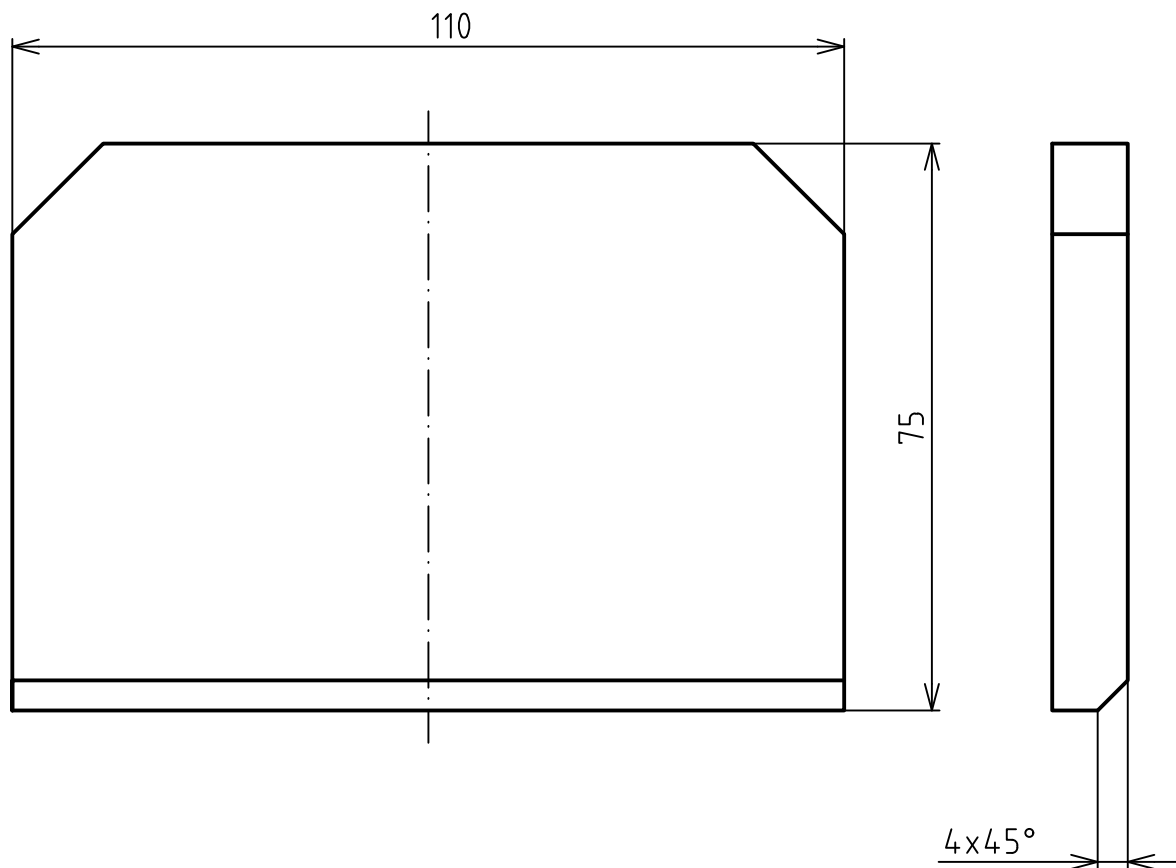
Drsnost povrchu <div></div>		(✓)		Hrany <div></div>		Měřítko 1:2		Přesnost ISO 2768-mK	
								Promítání 	
								Sestava 193214	
Materiál 11 523.1		Polotovar PLECH 8 - 170 x 413			Hmotnost 2,19 kg		Chráněno podle ISO 16016		
		Druh dokumentu VÝKRES DÍLU			Název DÍL 1				
		Kreslil VILÉM NONN							
		Schválil			Číslo dokumentu 193214 - 2/6				
		Datum vydání 21.04.2021							

VYTVOŘENO VE STUDIU

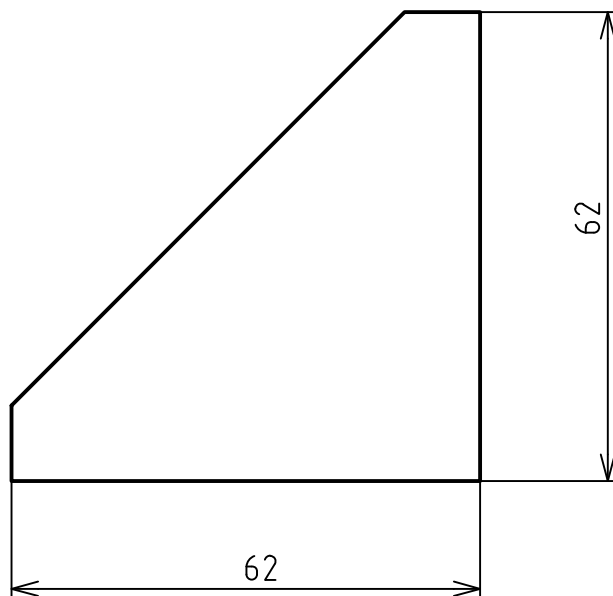
LIST 1 / 1

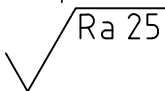
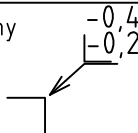
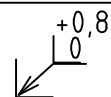



<div>Drsnost povrchu</div> <div><div><div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div><div>Ra 25</div></div><div><div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div><div></div></div></div>		<div>Hrany</div> <div><div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div><div><div>-0,4</div><div>-0,2</div></div></div> <div><div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div><div><div>+0,8</div><div>0</div></div></div>		<div>Měřítko</div> <div>1:1</div>	<div>Přesnost ISO 2768-mK</div> <div>Promítání<div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div></div> <div>Sestava 193214</div>
<div>Materiál 11 523.1</div>	<div>Polotovar PLECH 12 - 180 x 130</div>	<div>Hmotnost 1,27 kg</div>	<div>Chráněno podle ISO 16016</div>		
<div>Druh dokumentu VÝKRES DÍLU</div> <div>Kreslil VILÉM NONN</div> <div>Schválil</div> <div>Datum vydání 21.04.2021</div>		<div>Název</div> <div>DÍL 2</div> <div>Číslo dokumentu</div> <div>193214 - 3/6</div>			
<div>List /</div>					



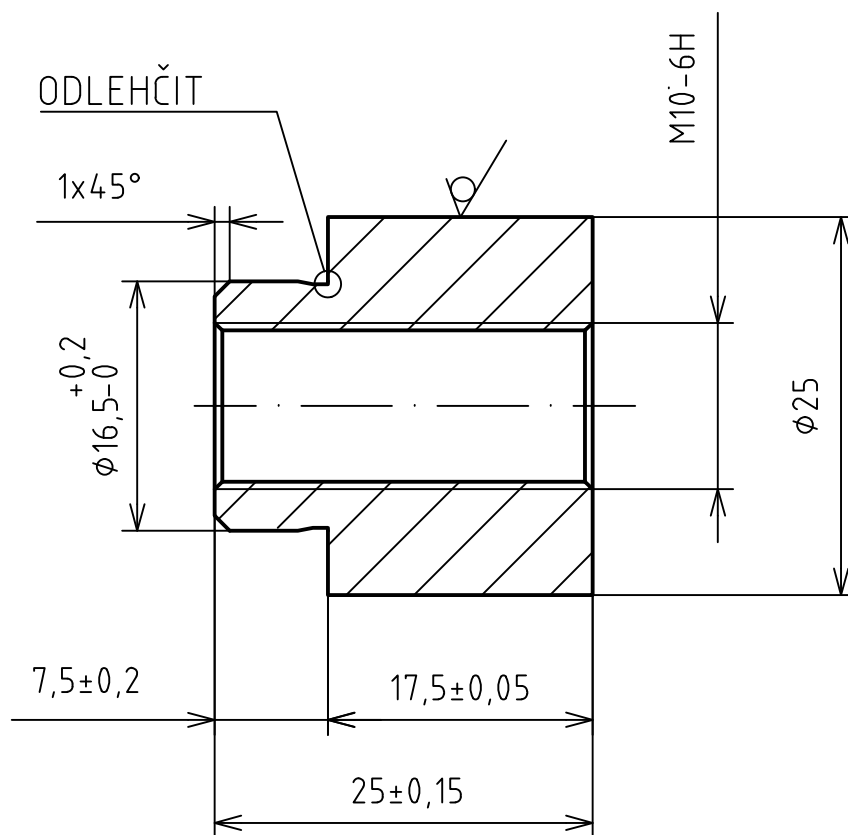
Drsnost povrchu 	Hrany 	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK
			Promítání
			Sestava 193214
Materiál 11 523.1	Polotovár PLECH 10 - 75 x 110	Hmotnost 0,63 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES DÍLU	Název DÍL 3	
	Kreslil VILÉM NONN		
	Schválil	Číslo dokumentu 193214 - 4/6	
	Datum vydání 21.04.2021		
			List /



Drsnost povrchu <div></div> <div></div>		Hrany <div></div> <div></div>	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK Promítání  Sestava 193214
Materiál 11 523.1	Polotovar PLECH 8 – 62 x 62		Hmotnost 0,16 kg	Chráněno podle ISO 16016
Druh dokumentu VÝKRES DÍLU		Název DÍL 4		
Kreslil VILÉM NONN				
Schválil		Číslo dokumentu 193214 – 5/6		
Datum vydání 21.04.2021				

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

List /



Drsnost povrchu 		Hrany 		Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768-mK Promítání
Materiál 11 523.0		Polotovár TYČ Ø25 h11		Hmotnost 0,07 kg	Sestava 193214
Druh dokumentu VÝKRES DÍLU Kreslil VILÉM NONN Schválil Datum vydání 21.04.2021		Název DÍL 5 Číslo dokumentu 193214 - 6/6			
					List /

PŘÍLOHA 2 (1/1)

Technické parametry pro CNC univerzální hrotový soustruh Tornado A90 [8].

Popis	Jednotky	Hodnoty
Základní technická data	–	–
Max. oběžný průměr nad ložem	[mm]	410
Max. oběžný průměr nad suportem	[mm]	360
Max. délka soustružení	[mm]	450
Výška osy vřetena nad podlahou	[mm]	900
Posuv	–	–
Max. pojezd nástroje v ose X	[mm]	200
Max. pojezd nástroje v ose Z	[mm]	450
Vřeteno	–	–
Max. otáčky vřetena	[ot·min ⁻¹]	4000
Vnitřní průměr ložiska vřetena	[mm]	90
Max. vnitřní průměr tažené trubky (pro kleštinové upnutí)	[mm]	52
Vrtání vřetena	[mm]	61
Vnější průměr sklíčidla	[mm]	170
Vrtání sklíčidla	[mm]	52
Nástrojová hlava	–	–
Počet míst v nástrojové hlavě	–	12
Max. rozměry těla soustružnického nože	[mm]	20 x 20
Max. průměr vrtací tyče	[mm]	32
Max. dráha nástroje pod osou vřetena	[mm]	22
Rychloposuv	–	–
Rychloposuv osa X	[m· min ⁻¹]	10
Rychloposuv osa Z	[m· min ⁻¹]	20
Motor	–	–
Příkon elektromotoru vřetena	[kW]	11
Obecné informace	–	–
Objem nádrže s procesní kapalinou	[l]	100
Zastavěná plocha	[m ²]	2,94
Hmotnost	[kg]	2 760

PŘÍLOHA 3 (1/2)

Inovovaný CNC program soustružení dílu 5. (Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nebudou některé části programu zveřejněny.)

```
g90 ;absolutní programování
g54 ;absolutní posunutí nulového bodu
g18 ;volba pracovní roviny x/z
diamon ;zdavání v průměrech
g95 ;posuv v mm/ot
;96 v m/min
;97 ot/min
g0 x200 z220

LIMS=3300;limit otáček

;polotovár
WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-40,-40,25)
```

```
GROUP_BEGIN(0,"Soustružení",0,0)
```

```
;hrubování
T="T5"
g0 x200 z10
g0 x22 z2
g96 s200 m3 m8
CYCLE62("CONTOUR1",1,,)
CYCLE952("CONTOUR",,,"")
g0 x200 z200
```

```
;dokončení
T="T6"
g0 x16 z2
g96 s160
CYCLE952("CONTOUR1",,,"")
g0 x60 z5
m9
g0 x200 z200
```

```
GROUP_END(0,0)
```

```
GROUP_BEGIN(0,"Předvrtání závitu",0,0)
T="T3" ;vrták Ø8,5
g0 x0 z2
g97 s3000 f0.2 m3 m8
CYCLE82(100,0,1,,29,0.6,10,1,11)
g0 x0 z5
m9
g0 x200 z200
GROUP_END(0,0)
```

PŘÍLOHA 3 (2/2)

GROUP_BEGIN(0,"Sražení pod závit",0,0)

T="T8"

g0 x0 z5

g0 x0 z-1

g96 s30 f0.1 m3 m8

g1 x0 z-3.5

g0 x0 z5

m9

g0 x200 z200

GROUP_END(0,0)

GROUP_BEGIN(0,"Závit M10",0,0)

T="7"

g0 x0 z5

g96 s10 m3 m8

f1.5

CYCLE84(100,0,1,-

28,,0.6,5,,1.5,0,120,120,0,1,0,0,10,1.4,,,"ISO_METRIC","M10",,1001,1001002)

g0 x0 z5

m9

g0 x480 z200

GROUP_END(0,0)

m34;vysunutí zachytávače

GROUP_BEGIN(0,"Upíchnutí",0,0)

T="T9"

g0 x27 z-28

m3 m8

;v cyklu nastaveno f0.2 g96 s120 zpomalení f0.5 s70

CYCLE92(25,-25,11.5,8,1,1,120,3300,4,0.2,0.5,900,0.2,0,,2,11000)

g0 x27 z-28

m9

g0 x480 z200

GROUP_END(0,0)

m34;vrácení zachytávače

m30

GROUP_BEGIN(0,"COUNTOUR1",0,0)

E_LAB_A_CONTOUR1: ;#SM Z:10

...

GROUP_END(0,0)

PŘÍLOHA 4 (1/2)

Inovovaný technologický postup výroby dílu 5.

Č. o.	Popis operace	Výrobek/Specifikace procesu/Řezné podmínky	Stroj/nástroj/měřidla
05	Dělení polotovaru	Dělení hutního polotovaru, tyč Ø25 h11, materiál 11 523.0. - tyč řezat na přířezy dlouhé 1 000 mm ($v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 160 \text{ mm}$)	S1, T4
10	Kontrola	Kontrola délky tyčového přířezu.	M5
15	Manipulace	Manipulace s tyčovým polotovarem na další pracoviště k provedení následující operace – soustružení dílu 5.	
20	Manipulace	Upnutí tyčového přířezu do univerzálního sklíčidla stroje. Ruční nastavení polotovaru pro soustružení s využitím dorazu.	S2, M1
25	Obrábění	Soustružení. - soustružit nahrubo $\text{Ø}16,5^{+0,2}_0 \text{ mm}$ do délky $7,5 \pm 0,2 \text{ mm}$ včetně sražení $1 \times 45^\circ$ ($n = 2\,500 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,3 \text{ mm}$, $a_p = 3 \text{ mm}$) - soustružit načisto $\text{Ø}16,5^{+0,2}_0 \text{ mm}$ do délky $7,5 \pm 0,2 \text{ mm}$ včetně sražení $1 \times 45^\circ$ ($n = 3\,200 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$, $a_p = 1 \text{ mm}$) - soustružit načisto na $\text{Ø}16,5^{+0,2}_0 \text{ mm}$ v délce $7,5 \text{ mm}$ odlehčení $0,2 \text{ mm}$ ($n = 3\,200 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,5 \text{ mm}$, $a_p = 1 \text{ mm}$) - soustružit načisto na $\text{Ø}25 \text{ mm}$ v délce $7,5 \text{ mm}$ srazit ostrou hranu ($n = 3\,200 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$, $a_p = 1 \text{ mm}$)	S2, T5 S2, T6
30	Obrábění	Soustružení. - v ose součásti soustružit díru pro závit M10 – 6H o $\text{Ø}8,5 \text{ mm}$ s hloubkou 29 mm ($n = 3\,000 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,2 \text{ mm}$)	S2, T3
35	Obrábění	Soustružení. - srazit hrany pod závit ($n = 900 \text{ min}^{-1}$, $f = 0,1 \text{ mm}$)	S2, T8
40	Obrábění	Soustružení. - soustružit závit M10 – 6H do hloubky 28 mm ($n = 120 \text{ min}^{-1}$, $f = 1,5 \text{ mm}$)	S2, T7

PŘÍLOHA 4 (2/2)

45	Obrábění	Soustružení. - upíchnout obrobek v délce $25 \pm 0,2$ mm a srazit hranu ($n = 1\,500\text{ min}^{-1}$, do hloubky 6 mm $f = 0,2$ mm, dokončení upíchnutí $n = 900\text{ min}^{-1}$ $f = 0,05$ mm)	S2, T9
50	Manipulace	Vyjmutí obrobku ze zachytávače dílů.	
55	Zámečnická práce	Odjehlit otřepy po upíchnutí a srazit hranu pod závit.	T10
60	Kontrola	Kontrola zhotoveného dílu pomocí posuvného měřítka a závitového kalibru.	M1, M4
70	Manipulace	Manipulace s hotovým dílem na další pracoviště k provedení následující operace – zavaření do sestavy.	

PŘÍLOHA 5 (1/2)

Technické parametry vertikálního obráběcího centra MCFV 1680 NT [37].

Popis	Jednotky	Hodnoty
Pojezdy	–	–
Osa X (pracovní stůl)	[mm]	1 650
Osa Y (křížový suport)	[mm]	810
Osa Z (vřeteník)	[mm]	810
Vzdálenost čela vřetena od stolu	[mm]	110 až 920
Max. pracovní posuv	[m·min ⁻¹]	30
Rychloposuv	[m·min ⁻¹]	30
Zrychlení	[m·s ⁻²]	3,5
Stůl	–	–
Pracovní plocha	[mm]	1 800 x 780
Počet T-drážek	–	5
Šířka x rozteč T-drážek	[mm]	18 x 160
Maximální zatížení	[kg]	2 500
Přesnost	–	–
Přesnost polohování	[mm]	0,009
Opakovaná přesnost	[mm]	0,005
Vřeteno	–	–
Upínání nástroje	–	ISO 40 (HSK 80)
Max. otáčky	[min ⁻¹]	10 000
Max. průměr nástroje (plně osazený zásobník)	[mm]	110
Max. průměr nástroje (bez sousedních nástrojů)	[mm]	180
Max. délka nástroje	[mm]	300
Max. hmotnost nástroje	[kg]	15
Max. celková hmotnost vřetena	[kg]	200
Přívody energie	–	–
Provozní příkon	[kVA]	35
Stlačený vzduch	[MPa]	0,6 až 0,8
Doplňkové údaje	–	–
Půdorys stroje s dopravníkem třísek	[mm]	5 980 x 3 630

PŘÍLOHA 5 (2/2)

Maximální pracovní výška stroje	[mm]	3 470
Hmotnost stroje	[kg]	13 800

PŘÍLOHA 6 (1/1)

CNC program frézování dílu 2.

WORKPIECE(,"","BOX",0,0,-12,-80,0,0,130,118)

g90 ;absolutní programování

g54 ;absolutní posunutí nulového bodu

g71 ;

g94 ;posuv v mm/min

;g95 posuv v mm/ot

;g96 zapnutí konstantní řezné rychlosti

;g97 vypnutí konst. vc (konst. otacky)

g17 ;volba pracovní roviny x/y

g0 x0 y0 z600

T="T13"

m6

g0 x0 y0 z20

g0 x-12 y-2 z5

g0 x-12 y-2 z-2

g97 s1830 m3 m8

f585

g1 x142

g0 x142 y0 z20

g0 x0 y0 z600

T="T17"

m6

g0 x-10 y0 z5

g0 x-8 y0 z-6

g97 s1800 m3 m8

f720

g1 x138

g0 x138 y0 z20

g0 x0 y0 z600

m30

PŘÍLOHA 7 (1/1)

CNC program frézování dílu 3.

WORKPIECE(,"","BOX",0,0,-10,-80,0,0,110,75)

g90 ;absolutní programování

g54 ;absolutní posunutí nulového bodu

g71 ;

g94 ;posuv v mm/min

;g95 posuv v mm/ot

;g96 zapnutí konstantní řezné rychlosti

;g97vypnutí konst. vc (konst. otacky)

g17 ;volba pracovní roviny x/y

g0 x0 y0 z600

T="T17"

m6

x0 y0 z20

g97 s1800 m3 m8

f720

g0 x-8 y0 z-4

g1 x118

g0 x118 y0 z20

g0 x0 y0 z600

m30

PŘÍLOHA 8 (1/5)

CNC program frézování sestavy – první upnutí. (Z důvodu dodržení dohody o utajení informací nebudou některé části programu zveřejněny.)

g90 ;absolutní programování
g54 ;absolutní posunutí nulového bodu
g71 ;metrické jednotky
g94 ;posuv v mm/min
;g95 posuv v mm/ot
;g96 zapnutí konstantní řezné rychlosti
;g97vypnutí konst. vc (zap. konst. otacky)
g17 ;volba pracovní roviny x/y

; nulovy bod dira Ø8,5 na ploše dílu 2 x0 y0 z2

LIMS=6500 ;limit otáček vřetena
GROUP_BEGIN(0,"Čelní frézování",0,0)
;čelní frézování plochy dílu 2
g0 x0 y0 z600
T="T14"
m6
g0 x0 y0 z20
g97 s800 m3 m8
CYCLE61(...)
g0 x0 y0 z80

;čelní frézování plochy dílu 3
g0 x157.5 y-183 z70
g97 s800 m3 m8
CYCLE61(...)

g0 x0 y0 z600
GROUP_END(0,0)

PŘÍLOHA 8 (2/5)

GROUP_BEGIN(0,"Vrtání děr",0,0)

;vrtání děr Ø8.5

T="T15_8,5"

m6

g0 x0 y0 z600

g0 x0 y0 z20

g97 s3700 m3 m8

f740

MCALL CYCLE82(20,0,1,-10.5,,0.6,10,1,22,10000,1,50,5,50)

HOLES1(0,0,0,0,60,2,,0,,,1)

mcall

g0 x0 y0 z70

;vrtání otvoru Ø8,5 pod závit M10

g0 x177.5 y-120 z70

g97 s3700 m3 m8

f740

MCALL CYCLE82(...)

CYCLE801(177.5,-115,0,70,-45,2,2,1,0,0,0,,,1)

mcall

g0 x177.5 y-115 z70

g0 x0 y0 z600

;vrtání otvoru Ø6,8 pod závit M8

T="T15_6,8"

m6

g0 x0 y0 z600

g0 x-25 y-6 z20

g97 s4500 m3 m8

f720

MCALL CYCLE82(...)

PŘÍLOHA 8 (3/5)

CYCLE801(-25,-6,0,110,-75,2,2,1,0,0,0,,1)

mcall

g0 x0 y0 z600

GROUP_END(0,0)

GROUP_BEGIN(0,"Řezání závitů",0,0)

;řezání závitů m10 na ploše dílu 2

T="T16_M10"

m6

g0 x0 y0 z600

g0 x177.5 y-120 z70

g97 m3 m8 ;s380 f1,5

MCALL

CYCLE84(79,58.5,1,,10,0.6,5,,1.5,0,380,380,0,1,0,0,5,1.4,, "ISO_METRIC", "M10",,,
1001,1001001)

CYCLE801(...)

mcall

g0 x177.5 y-120 z70

g0 x0 y0 z600

;řezání závitů m8 na ploše dílu 1

T="T16_M8"

m6

g0 x0 y0 z600

g0 x-25 y-6 z20

g97 m3 m8 ;s480 f1,5

MCALL

CYCLE84(20,0,1,,10,0.6,5,,1.25,0,480,480,0,1,0,0,5,1.4,, "ISO_METRIC", "M8",,,10
01,1001001)

CYCLE801(...)

mcall

g0 x0 y0 z600

PŘÍLOHA 8 (4/5)

GROUP_END(0,0)

GROUP_BEGIN(0,"Zahloubení děr Ø8,5",0,0)

T="T17"

m6

g0 x0 y0 z20

g97 s2000 m3 m8

f800

MCALL CYCLE82(...)

HOLES1(0,0,0,0,60,2,,0,,1)

mcall

g0 x0 y0 z600

GROUP_END(0,0)

GROUP_BEGIN(0,"Sražení hran pod závity",0,0)

T="T18"

m6

;sražení pod závity M10

g0 x177.5 y-120 z70

g97 s1500 m3 m8

f150

MCALL CYCLE82(...)

CYCLE801(177.5,-115,0,70,-45,2,2,1,0,0,0,,1)

mcall

g0 x177.5 y-115 z70

;sražení pod závity M8

g0 x0 y0 z70

g0 x-25 y-6 z20

g97 s150 m3 m8

f150

MCALL CYCLE82(20,0,1,-3,,0.6,0,1,22)

PŘÍLOHA 8 (5/5)

CYCLE801(-25,-6,0,110,-75,2,2,1,0,0,0,,,1)

mcall

g0 x0 y0 z600

g0 x200 y200 z550

GROUP_END(0,0)

m30

PŘÍLOHA 9 (1/1)

CNC program frézování sestavy – druhé upnutí.

WORKPIECE(,"","BOX",0,2,-10,-80,-95,-12,130,118)

g90 ;absolutní programování

g54 ;absolutní posunutí nulového bodu

g71 ;metrické jednotky

g94 ;posuv v mm/min

;g95 posuv v mm/ot

;g96 zapnutí konstantní řezné rychlosti

;g97vypnutí konst. vc (zap. konst. otacky)

g17 ;volba pracovní roviny x/y

; nulovy bod dira Ø8,5 na ploše dílu 2 x0 y0 z2

LIMS=6500 ;limit otáček vřetena

g0 x0 y0 z600

T="T14"

m6

g0 x-128 y-16.5 z20

g0 x-128 y-16.5 z-2

g97 s800 m3 m8

f1200

g1 x68

g0 x68 y-16.5 z600

M30